



*СКАИ -
школа для жизни!*



«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

(школа молодых ученых)»

ТОМ III

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ
СБОРНИК ДОКЛАДОВ**



Министерство образования и науки Российской Федерации

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics

Российский фонд фундаментальных исследований

Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ)



**Международная молодежная
научная конференция
«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ
(школа молодых ученых)»**



ТОМ III

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

Казань 2017

УДК 629.7(082)
ББК 39.5+39.6я43
Т85

Т85 XXIII Туполевские чтения (школа молодых ученых):
Международная молодёжная научная конференция, 8–10
ноября 2017 года: Материалы конференции. Сборник
докладов: в 4 т. – Казань: Изд-во Академии наук РТ,
2017. – Т. 3. – 763 с.: ил.

ISBN 978-5-9690-0395-8 (т. 3)
ISBN 978-5-9690-0392-7

В сборнике представлены тексты докладов участников Между-
народной молодёжной научной конференции «XXIII Туполевские
чтения (школа молодых ученых)», посвященные актуальным вопро-
сам и проблемам развития аэрокосмических технологий, машино-
строения, энергетики, приборостроения, информационных, инфо-
коммуникационных, радиоэлектронных технологий, а также соци-
ально-экономические аспекты создания аэрокосмической техники.

Конференция проводится на базе ФГБОУ ВО «Казанский наци-
ональный исследовательский технический университет им. А.Н. Ту-
полева-КАИ» в рамках гранта РФФИ № 17-38-10308 мол_г.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции.

*Ответственность за аутентичность и точность имен, названий и иных сведений,
а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности
несут авторы публикуемых материалов.*

УДК 629.7(082)
ББК 39.5+39.6я43

ISBN 978-5-9690-0395-8 (т. 3)
ISBN 978-5-9690-0392-7

© Авторы докладов 2017
© Изд-во АН РТ
(оформление), 2017

СЕКЦИЯ 5

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОЛОГИИ**

ПОДСЕКЦИЯ 5.4

**СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ**

Подсекции 5.1-5.3 содержатся в томе 2

UDK 821.3

HIGH EFFICIENT RANDOM NUMBER GENERATOR BASED ON FUZZY LOGIC

Alnajjar Khaled

Supervisors: I. Anikin, candidate of technical sciences, docent
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper we aim to increase the efficiency of random number generator based on fuzzy logic (FRNG), described in [1]. We pay more attention on selecting primitive polynomials to fit the required of efficiency (simplicity, excellent statistical properties, low power consumption, etc). Then we evaluate the randomness and performance of proposed FRNG and compare it with other RNGs.

Introduction

Pseudo-random number generators (PRNG) with a good statistical properties are very essential for many applications as simulation, numerical analysis, decision making, game programming, cryptography etc. But it is very important to generate pseudo-random sequences with the high degree of randomness to fit all the requirements of most applications. The structure of FRNG is fully described In [1,2].

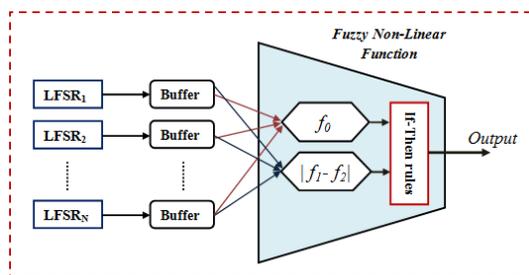


Fig. 1. General structure of fuzzy PRNG

We suggested new non-linear fuzzy pseudo-random generator (FRNG) depending on fuzzy logic techniques and linear feedback shift

registers to produce pseudo-random sequences with high randomness. Fig. 1 illustrates the general structure of FRNG. This proposed generator combines some LFSRs, buffers with size of 32bits, two fuzzy linguistic variables and a group of fuzzy *if-then* rules. The linguistic variables are the number of ones in the buffer (f_0) and the difference between the number of blocks that consist of two ones (f_1) and the number of gaps of two zeros (f_2) in the considered buffers $|f_1-f_2|$. At the first step LFSRs give out a binary pseudo-random sequences. The output of LFSRs passes through buffers of size 32 bits. Then we estimate two fuzzy statistical variables over each buffer - f_0 and $|f_1-f_2|$. Finally we use fuzzy *if-then* rules to select the LFSR with the best statistical properties and select its output bit to be the output of the system at the moment. We used following irreducible polynomials of LFSRs in the studied generator:

$$P_1(x) = 1 + x^{83} + x^{84} + x^{86} + x^{89}$$

$$P_2(x) = 1 + x^{91} + x^{97}$$

We proved in [1] that the period of the suggested FRNG is

$$T_s = T_1 \cdot T_2 = 9.80797 \times 10^{55} \geq 10^{50}$$

Also, it has been proven that the sequence which is generated by FRNG passed all the randomness tests of the NIST Test Suite [3].

Other two primitive polynomials have been selected in order to increase the efficiency of FRNG proposed in [2]. The selected new polynomials should satisfy the requirements of high efficiency:

❖ Relatively big Hamming weight: If small percentage of output bits generated by LFSR are modified from one step to the next, so the LFSR may contain more 0's than 1's (or the opposite) for a large number of steps. To avoid this problem, polynomials with small hamming weight shouldn't be used. [4].

❖ Maximum of LFSR's period: It is known that generated sequence by LFSR has maximum period if and only if it's characteristic polynomial is primitive over $GF(2)$, and it's period can be defined by as T ($T=2^n-1$) where n is the degree of the polynomial.

❖ Low power consumption: The primitive characteristic polynomials of LFSRs should have as small number of *XOR* gates [5].

So a compromise solution should be found to satisfy these properties. we will discuss finding suitable solutions in the next sections.

The structure of this paper is organized as follows: in the second section we discuss the suggested method of finding primitive polynomials that fit the requirements of efficiency, in the third section we evaluated the resulted FRNG using Diehard test packet, in the fourth section we used the most important tests of NIST statistical tests to compare the proposed FRNG with other pseudo-random generators, and in the conclusion we discussed the basic results of this research.

Selection of primitive polynomials for efficient FRNG

Primitive polynomials over Galois Field $GF(2)$ with high degrees and small number of terms (hamming weight = 3,5) have been used for a long period of time. They have high performance and minimum hardware cost (in terms of the number of XOR gates required to construct the LFSR). But at the same time they have some defects related to some statistical tests, and they have a low diffusion capacity. So a good RNG are required to have characteristic polynomials, whose number of non-zero coefficients is not too far from half of the degrees [6]. On other hand, selecting polynomials with big number of terms leads to high hardware cost. So we should find a compromised solution. Very good solution to this problem suggested in [5]. They guide us to a method for finding polynomials of minimum-cost LFSRs with suitable number of terms. The suggested method can be summarized in finding a primitive polynomial, satisfying the following properties:

Let $k = 2^m - 1$, given $f(x)$ that constructs an n -stage modular LFSR with k 2-input XOR gates, if $f(x) + x^n$ is fully decomposable such that $f(x) = (1 + x^{b_1})(1 + x^{b_2}) \dots (1 + x^{b_m}) + x^n$, Then a minimum-cost LFSR that implements the same $f(x)$ can be constructed using only m 2-input XOR gates, where

$$b_1 \geq 1, b_1 < b_2, (b_1 + b_2) < b_3, \dots,$$

$$(b_1 + b_2 + \dots + b_m - 1) < b_m, (b_1 + b_2 + \dots + b_m) < n$$

According to this conditions we chose the same previously used in FRNG degrees (89, 97), with $m=5, k=3$. Then we write algorithm to find the values of (b_1, b_2, \dots, b_m) that fit the conditions and find all possible variants that give irreducible polynomials then filtered the resulting list by applying the primitivity tests to pick up only the primitive ones.

Using *Mathematica software*, we found two primitive polynomials that fit all the mentioned conditions:

$$P_1(x) = (1 + x)(1 + x^5)(1 + x^{10})(1 + x^{17})(1 + x^{39}) + x^{89}$$

$$P_2(x) = (1 + x)(1 + x^4)(1 + x^7)(1 + x^{20})(1 + x^{53}) + x^{97}$$

It is worth to mention that the hamming weight of each of these polynomials is ($W=33$), which is considered very good. They need only five 2-input XOR gates. These polynomials satisfy requirements of efficient RNGs with minimum hardware cost and low power consumption.

Evaluation the resulting FRNG using DIEHARD tests packets

It is necessary to evaluate the randomness of the resulting random number generator (FRNG). we chose to assess the proposed FRNG using Diehard statistical tests. Once the statistical tests had been applied, we wished to determine how well the empirical results matches their theoretical counterparts. So a binary file of 32bits integers with a size of 11.2MB has been prepared using the efficient FRNG, to be tested with Diehard battery of randomness tests (version: DOS, Jan 7,1997) [7]. Table 1 summarizes the obtained results. It is worth to mention that in Diehard battery, they used the KS test to assess the fitness of the distribution of P-values, in addition to chi-square criterion [8].

Table 1

Results of applying DIEHARD tests to efficient FRNG

Test	P-value	results
1. Birthday Spacing	0.4242	success
2. Overlapping Permutations	0.8351	success
	0.6696	
3. Ranks of 31x31 and 32x32 matrices	0.3742	success
	0.3454	
4. Ranks of 6x8 matrices	0.6937	success
5. Monkey tests on 20-bit words	0.8979	success
6. Monkey tests OPSO, OQSO, DNA	0.8054	success
	0.9707	
	0.7693	
7. count the 1's in Stream of Bytes	0.8100	success
	0.8255	
8. count the 1's in Specific Bytes	0.5269	success
9. Parking Lot Test	0.2447	success

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

10. Minimum Distance Test	0.5139	success
11. Random Spheres Test	0.3793	success
12. The Squeeze Test	0.6126	success
13. Overlapping Sums Test	0.1176	success
14. Runs Test (runs up,runs down)	0.3551	success
	0.1513	
15. The Craps Test (p-value for no. wins, p-value for throws/game)	0.3357	success
	0.9688	

As shown on Tab.1 FRNG successfully passed all Diehard tests.

Evaluation the resulting FRNG using NIST tests packets

Firstly, in order to reduce the time of randomness testing of pseudo-random sequences, we used analytic hierarchy process (AHP) [9] to select the most important five tests from the NIST suite, which include 15 tests. We constructed a 3-level hierarchy for ranking the 15 tests. The top level is the our target – “Select the best statistical test”. We included three selection criteria on the second level of our hierarchy (independency of test, computational and time complexity, distinctive of test's results). As a result we defined the most important five tests of NIST packet: T1 = “Frequency(monobit)”, T2 = “Frequency(Block)”, T3 = “Runs”, T4 = “Longest Runs of Ones”, T5 = “Approximate Entropy”. Then we made the some numerical experiments to test the proposed efficient FRNG. A sequence with length of 1024000 bits generated, then it's divided into 1000 samples with length of 1024 bits, examined them with using the resulted five statistical tests. We did all experiments in *Matlab R2012a* version (7.14.0.739) [10] and chose significance level $\alpha = 0.01$. In all, this resulted in $(1000 \times 5) = 5000$ *P-values*. Tab. 2 illustrates the results of testing the sequences generated by efficient FRNG applying three approaches of interpretation (the mean and variance of *P-values*, chi-square criterion with 9 degrees of freedom, and number of fails approaches)[8].

Table 2

Results of applying NIST tests to efficient FRNG

	mean, variance (0.5,0.0833)	Chi-square (≤ 29.67)	N. fails (≤ 19)
--	--	---	--

T1	0.5029	0.0818	9.480	6
T2	0.5067	0.0812	11.040	5
T3	0.5028	0.0852	7.960	11
T4	0.4987	0.0818	14.200	5
T5	0.5001	0.0829	3.320	6

As shown in the table, the generated sequence passed successfully all five randomness tests.

Comparison of FRNG with Diehard's PRNGs

In order to prove the quality of the proposed generator, we evaluated efficient FRNG via comparing it with 16 pseudo-random number generators included in Diehard bundle [7], using the same most important five tests of NIST. So binary sequences of size (1024000 bits) have been generated from all 16 RNGs included in the Diehard suite. Then we used chi-square and number of fails approaches to compare these generators with the suggested FRNG. Table 3 shows the results of this comparison.

Table 3

Comparison results of FRNG with Diehard's PRNGs

PRNG's name	Chi_square (≤ 29.67)	Sum of N.fails
FRNG	+	+ (33)
1- Multiply with carry (MWC)	+	+ (47)
2- MWC on pairs of 16bits	+	- (51)
3- the mother of all RNGs	-	+ (55)
4- Kiss RNG	-	+ (54)
5- Combo RNG	+	+ (55)
6- The lagged Fibonacci-MWC combination ULTRA	-	+ (44)
7- A combination of MWC & subtract with borrow (SWB)	-	+ (50)
8- Extended congruential	-	+ (43)
9-The super Duper generator RNG	+	+ (63)
10- Subtract with borrow	-	+ (46)
11- Any specified congruential	-	+ (52)

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

12- The 31-bit ran2 from Numerical Recipes	-	+ (51)
13- Any specified shift register generator 31 or 32 bits	-	+ (53)
14- The system generator in Microsoft Fortran	-	+ (58)
15- Any lagged-Fibonacci	+	- (94)
16- An inverse congruential	-	+ (35)

The sign (+) in the table 3 means that the generator successfully passed all five statistical tests regarding the chi-square and the number of fails approaches. The sign (-) means that the generator didn't pass partly or totally the corresponding approach. Here partly means that the tested sequence didn't pass at least one from the five tests regarding the criterion of chi-square or number of fails. According to table 3 the suggested FRNG has the best results in comparing with all generators included in Diehard bundle.

Conclusion

We increased the efficiency of FRNG proposed in [1,2] by replacing the primitive polynomials by other two polynomials with less power consumption and excellent statistical properties that make the generator more secure. Then we tested it's randomness using different statistical test suites (NIST, DIEHARD). We compared obtained FRNG with 16 PRNGs included in Diehard bundle.

Finally we can conclude that the suggested FRNG has high quality regarding the efficiency and the randomness. And it produces pseudo-random sequences that fit the requirements of most telecommunication applications (including cryptography, authentication etc.).

References

1. *I.V. Anikin, K. Alnajjar*, "Fuzzy stream cipher system," Proceedings of 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015, Omsk, 2015.
2. *I.V. Anikin, K. Alnajjar*. "Pseudorandom number generator based on fuzzy logic", 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 2016.

3. A. Rukhin, J. Soto, J. Nechvatal, M. Smid, E. Barker, S. Leigh, M. Levenson, M. Vangel, D. Banks, A. Heckert, J. Dray and S.Vo, "A statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications," Revised: April 2010, Lawrence E Bassham III, NIST Special Publication 800-22, Revision 1a.

4. S. Tezuka, and P. L'Ecuyer. "Efficient and portable combined Tausworthe random number generators." ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation 1(2): 99–112.(1991).

5. Lang-Terng Wang, Nur A. Toubia, Richard P. Brent, Hui Xu, and Hui Wang, "On Designing Transformed Linear Feedback Shift Registers with Minimum Hardware Cost", UT-CERC-12-03, 2011.

6. L'Ecuyer, P., and F. Panneton, "Fast random number generators based on linear recurrences modulo 2: overview and comparison," Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference.

7. G. Marsaglia, DIEHARD Statistical Tests: <http://stat.fsu.edu/~geo/diehard.html>

8. Knuth, The Art of Computer Programming. vol. 2. 2 ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1981.

9. T.L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York, 1980.

10. MATLAB® "Creating Graphical User Interfaces", The MathWorks, Inc.

УДК 821.3

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГЕНЕРАТОРА ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ, ОСНОВАННОГО НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ, С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКИХ ТЕСТОВ

Альнаджар Х.Х.

Научный руководитель: И.В. Аникин, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Данная статья посвящена оценке качества генератора псевдослучайных чисел, основанного на нечеткой логике, ранее предложенного автором, с помощью метода графических тестирований псевдослучайных последовательностей, на соответствия критериям истинно случайным последовательностям. В этом методе статистические свойства сгенерированных псевдослучайных последовательностей отображаются в виде графических зависимостей, по виду которых делают выводы о свойствах исследуемой последовательности.

Введение

В настоящее время, качественные генераторы случайных и псевдослучайных чисел являются важными элементами многих прикладных областей, включая телекоммуникационные технологии, информационную безопасность, моделирование и т.д. Качественная последовательность ГПСЧ должна соответствовать следующим требованиям: непредсказуемость, воспроизводимость, равномерное распределение символов сгенерированной последовательности, бесконечный период повторения, отсутствие корреляции между символами последовательности. Использование регистров сдвига с линейной обратной связью (РСЛОС) позволяет достаточно просто формировать двоичные псевдослучайные последовательности. Однако псевдослучайные последовательности, сгенерированные с помощью РСЛОС, не являются достаточно надежными, в связи с чем в последнее время много внимания стали удалять регистрам нелинейного сдвига. При этом в различных работах производятся попытки объединения нескольких РСЛОС нелиней-

ным способом (с помощью нелинейной функции f), чтобы получить псевдослучайные последовательности с хорошими криптографическими свойствами. В работах [1,2] авторами предложен новый подход к реализации нелинейности на основе нечеткой логики (НГПСЧ). Архитектура данного генератора и её параметры исследованы в [2] с целью получения псевдослучайных последовательностей, которые по статистическим свойствам близки к случайным. Общая структура НГПСЧ представлена на рисунке 1. Данный генератор состоит из нескольких РСЛОС (двух для упрощения исследования), выходные данные которых поступают в два буфера размером 32 бит. Далее с помощью лингвистических переменных оцениваются статистические свойства информации, находящейся в буферах.

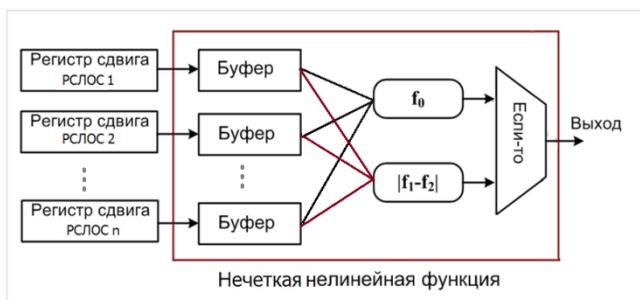


Рис. 1. Общая структура НГПСЧ

В данной работе исследуем случайность предложенного генератора с помощью совокупность графических тестов псевдослучайных последовательностей, на соответствие критериям истинно случайным последовательностям. Данная совокупность графических тестов включает в себя семь тестов и выбраны пять важнейших тестов из них: гистограмма распределения элементов последовательности, распределение на плоскости, проверка серий, автокорреляционная функция, профиль линейной сложности. Результаты этих тестов отображаются в виде графиков, характеризующих свойства исследуемой последовательности.

1. Гистограмма распределения элементов последовательности

ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В этом тесте производится оценка равномерности распределения элементов в исследуемой последовательности и определение частоты появления конкретного символа. Гистограмма строится следующим образом. Подсчитывается в сгенерированной последовательности сколько раз встречается каждый элемент, после чего строится график зависимости числа появлений элементов от их численного представления (ASCII-значение для байтов). Сначала преобразуем исходную двоичную последовательность в последовательность ASCII-значений символов (каждый символ состоит из 7 бит), потом подсчитывается количество вхождений каждого элемента и на основе этих данных строится гистограмма. Если тестируемая последовательность удовлетворяет свойствам случайности, то разброс частот появления символов стремится к нулю т.е. символы последовательности встречаются практически одинаковое количество раз. В противном случае последовательность не является случайной.

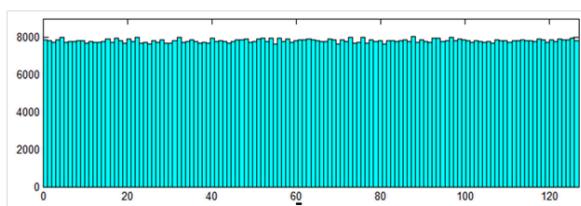


Рис. 2. Тест гистограммы распределения элементов сгенерированной последовательности (НГПСЧ)

На рис. 2 представлены результаты применения теста гистограммы к сгенерированной последовательности с длиной 7×10^6 бит, преобразованной в символьную последовательность с помощью ASCII-кода на 7 бит, представленной в числовой форме с 0 до 127. Очевидно из рис. 2., что исследуемая последовательность успешно прошла тест гистограммы распределения элементов последовательности.

2. Распределение на плоскости

Тест распределения на плоскости предназначен для определения зависимостей между элементами исследуемой последова-

тельности. Построение распределения на плоскости осуществляется следующим образом. На поле размером $(2^R - 1) \times (2^R - 1)$ (где R – разрядность чисел исследуемой последовательности) наносятся точки с координатами $(\varepsilon_i; \varepsilon_{i+1})$, где ε_i – элементы исследуемой последовательности ε , $i = 1 \dots n-1$, n – длина последовательности. Далее производится анализ полученной картины. Если между элементами последовательности отсутствуют зависимости, то точки на поле расположены хаотично (равномерно). Если на поле присутствуют зависимости, наблюдаются «узоры» – последовательность не является случайной. Для последовательностей большой длины хорошим результатом является абсолютно черное поле [3].

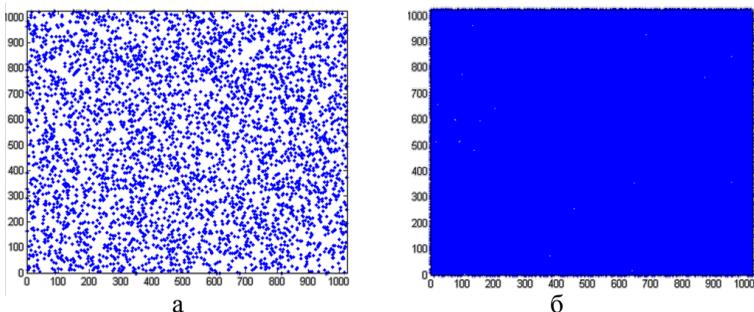


Рис. 3. Тест распределения на плоскости

На рис. 3.а, рис. 3.б иллюстрируют графические результаты применения теста распределения на плоскости к сгенерированной последовательности с помощью НПСЧ с двумя значения количества точек ($R=10$) первое 4096 (а), и второе 10^5 точек (б).

Как показано на рис. 3 генерируемые последовательности предложенным генератором не имеют никаких узоров.

3. Проверка серий

Тест проверка серий позволяет оценить равномерность распределения символов в исследуемой последовательности на основе анализа частоты появления нулей и единиц и серий, состоящих из k бит. Данный тест осуществляется следующим образом. Подсчитывается, сколько раз встречаются нули, единицы, серии-двойки (00, 01, 10, 11), серии-тройки (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111) и т.

ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

д. в битовом представлении исследуемой последовательности. Полученные результаты представляются в графическом виде.

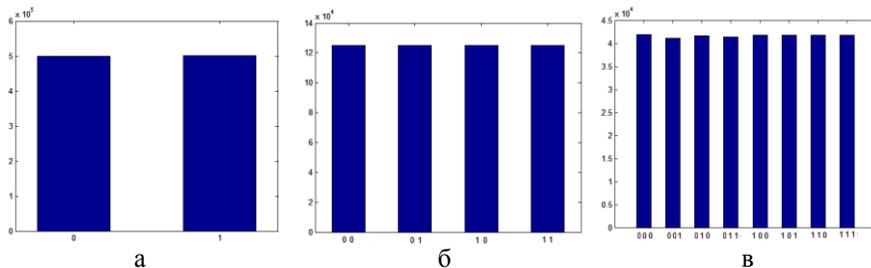


Рис. 4. Результаты теста проверки серий

У последовательности которая имеет статистические свойства близко к свойствам истинно случайной последовательности, разбросы между числом появлений нулей и единиц, между числом появлений серии-двойки каждого вида и между числом появлений серий-тройки каждого вида должны стремиться к нулю. В противном случае исследуемая последовательность не является случайной. На рис. 4.(а, б, в) показаны результаты теста проверки серий с длиной 10^6 бит. Очевидно из рис.4, что исследуемая последовательность успешно прошла тест проверки серий.

4. Автокорреляционная функция (АКФ)

Данный тест позволяет обнаруживать зависимость между подпоследовательностями исследуемой последовательности. АКФ имеет два типа: битовая и символьная.

Битовая АКФ: Построение графика битовой АКФ производится следующим образом. Исследуемая последовательность представляется в битовом виде и затем нормируется по правилу ($1 \rightarrow 1, 0 \rightarrow -1$). Если $\varepsilon_0 \varepsilon_1 \dots \varepsilon_{n-1}$ - двоичная запись исследуемой последовательности, то нормированная последовательность $b_0 b_1 \dots b_{n-1}$, затем вычисляются всплески корреляции по формуле:

$$c_j = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} b_i \cdot b_{(i+j) \bmod n}}{\sum_{i=0}^{n-1} b_i^2}$$

тельности, $j = \overline{0, n}$.

Символьная АКФ: Построение графика символьной АКФ производится следующим образом. Исследуемая последовательность нормируется. Пусть $a_{R-1}a_{R-2} \dots a_0$ (R - разрядность числа) - двоичная запись i -ого элемента исследуемой последовательности, тогда нормированное значение данного элемента есть: $b_i = \sum_{j=0}^{R-1} (-1)^{a_j} \cdot 2^j$ После этого вычисляются всплески корреляции по предыдущей формуле.

Для последовательности, чьи статистические свойства близки к свойствам истинно случайной последовательности, значения всплески корреляции должны стремиться к нулю во всех точках. Присутствие значительных всплески корреляции свидетельствует о наличии зависимости между элементами исследуемой последовательности.

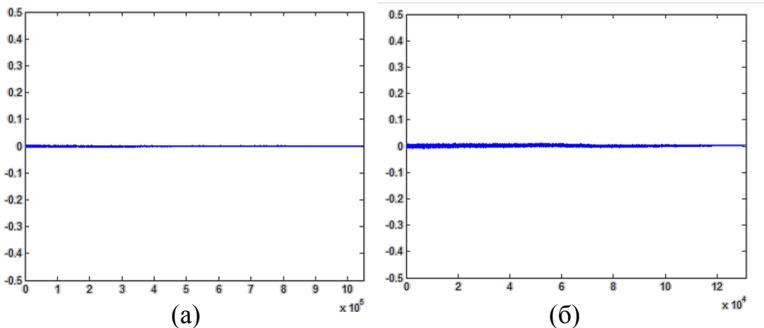


Рис. 5. Результаты теста битовой (а), символьной АКФ (б)

На рис. 6 показаны графические результаты применения теста битовой и символьной АКФ к сгенерированной последовательности с помощью НГПСЧ длина которой (10^6 бит). И с $R=8$ бит и длина последовательности (131072 символа). Как видно из рисун-

ков (а, б), что исследуемая последовательность успешно прошла тест АКФ.

5. Профиль линейной сложности

Цель данного теста - исследовать генерированную последовательность с помощью предложенного генератора НГПСЧ на случайность, анализируя зависимость линейной сложности полученной последовательности от её длины. Для построения графика линейной сложности берутся первые n бит последовательности, $n > 1$. Для этих n бит производится расчет значения линейной сложности. Определение значения линейной сложности производится с помощью алгоритма Берлекэмп-Мэсси. Успешным прохождением теста является малое отклонение полученного графика от графика ($L = n/2$). Стоит отметить, что в случайной последовательности должно отсутствовать какой-либо регулярности в профиле линейной сложности [5]. Чтобы доказать, что исследуемая последовательность не имеет никакой закономерности в прыжковых точках, мы построили линейный профиль сложности с небольшим количеством бит. Рис.6.(б) показывает нерегулярности изучаемой последовательности.

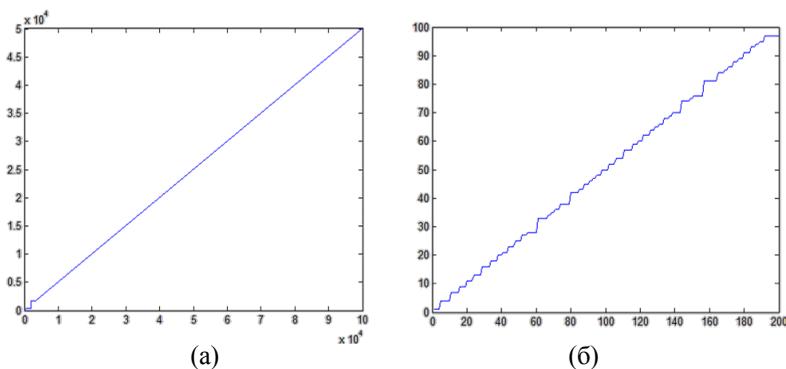


Рис. 6. (а) Результаты теста профиля линейной сложности и доказание нерегулярности в прыжковых точках (б)

Очевидно из рисунка 6.(а, б), что исследуемая последовательность успешно прошла тест профиля линейной сложности.

Выводы

Сформированная последовательность генератором псевдослучайных чисел, на основе нечеткой логики успешно проходит графические тесты на случайность. Итак предложенный генератор может быть использован для практического решения многих задач во многих предметных областях (информационную безопасность, электронная коммерция, моделирование и т.д.).

Список литературы

1. Аникин И.В., Альнаджар Х.Х. Генератор псевдослучайных чисел, построенный на нечеткой логике // Информация и безопасность – 2015. - Том 18, № 3. - С. 376-379.

2. Аникин И.В., Альнаджар Х.Х. “Исследование параметров генератора псевдослучайных чисел, основанного на нечеткой логике”//Вестник технологического университета- 2016.-Том 19, №12.- С. 124-127.

3. Аникин И.В., Альнаджар Х.Х. “Выбор примитивных полиномов для генератора псевдослучайных чисел, основанного на нечеткой логике”//Вестник КГЭУ- 2016.- Том 19, № 2(30).-С. 38-51.

4. Иванов М.А., Чугунков И.В.. Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей [Текст] Москва: КУДИЦ-ОБРАЗ. 2003 г. 240с.

5. W. Meidl, Enumeration results on linear complexity profiles and lattice profiles, Journal of Complexity, vol. 22, p. 275-286, 2006.

EVALUATION OF PSEUDORANDOM NUMBER GENERATOR BASED ON FUZZY LOGIC USING GRAPHICAL RANDOMNESS TESTS

Khaled Alnajjar

Supervisors: I. Anikin, candidate of technical sciences, docent

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper we used some graphical statistical tests to evaluate the quality of the pseudorandom generator based on fuzzy logic, previously pro-

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

posed by the author. This type of graphical tests provides simple and effective visual measure of randomness properties of the studied sequences.

УДК 004.942

АНАЛИЗ ЗРАЧКОВЫХ РЕАКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА НА СВЕТОВОЕ ИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Ахметвалеев А.М.

Научный руководитель: А.С. Катасёв, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной работе показана возможность применения современных интеллектуальных методов анализа данных в решении задачи пупиллометрического обследования пациентов. Приводится описание этапов подготовки данных, а также анализа пупиллограмм на основе нейросетевого подхода, позволяющего повысить достоверность результата диагностики, а также уменьшить количество ограничений, связанных с использованием традиционного метода.

В медицинской диагностике широкое распространение получил метод пупиллометрии, позволяющий по реакции зрачков человека на световой стимул оценить ряд параметров цереброспинальных вегетативных центров, отражающих как состояние организма в целом, так и нервной системы, а также некоторых внутренних органов в отдельности [14]. Применение метода пупиллометрии зарекомендовало себя в диагностике функциональных состояний, связанных с различными видами интоксикации, вызванных, например, употреблением алкоголя или наркотических средств [3,10].

Несмотря на значимость результатов пупиллометрической диагностики, данный метод существенно ограничен в применении из-за необходимости использования дорогостоящего специального оборудования, соблюдения лабораторных условий и наличия специально подготовленного персонала (врача-офтальмолога), имеющего экспертный опыт в интерпретации результатов проведенного обследования. Как известно, реакция зрачков человека на световое импульсное воздействие (изменение освещенности) является одним из безусловных и неуправляемых со стороны человека рефлексов организма. При ярком освещении зрачки глаза сужаются, а в

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

условиях мрака – расширяются. Колебания зрачка, как правило, возможны в диапазоне от 2 до 8 мм и достаточно нормированы у здоровых людей в одинаковых условиях [13]. Пример состояния зрачков при различном освещении показан на рисунке 1. На данном рисунке показаны три различных состояния зрачка глаза: в темноте зрачок максимально расширен, при нормальном освещении – находится в естественном состоянии, а при ярком освещении – максимально сужен.



Рис. 1. Различные состояния зрачка глаза

В то же время, различные внешние и внутренние факторы могут привести к отклонениям нормальной (здоровой) зрачковой реакции человека. Среди данных факторов выделяют различные заболевания, эмоции, страх, переутомление и др. Наиболее выраженные отклонения проявляются в результате интоксикации организма психотропными веществами и алкогольными напитками [2,5,9,10,14]. Для определения различных отклонений в пупиллометрическом обследовании производят регистрацию зрачковой реакции в течение 3 секунд с момента подачи светового импульса, после чего строится пупиллограмма, отражающая характер зрачковой реакции человека (см. рис. 2).

На представленном рисунке приводится пример пупиллограммы – временного ряда, отражающего динамику изменения диаметра зрачка в течение определенного обследования времени (3 секунды). Для обработки и интерпретации результатов пупилло-

метрического обследования используются различные математические подходы анализа данных [12]: параметрический метод, основанный на кусочно-линейной модели пупиллограмм, линейно-дискриминантный (аппроксимационный), кластеризационный (классификационный) методы и др. Большинство существующих методов опирается на математический подход к анализу временных рядов, с характерной «строгостью» вычислений и результата, что в итоге может привести к снижению точности классификации пупиллограмм, в особенности при условии неустойчивости результата обследования и внешних факторов. Поэтому большинство экспертов проводят дополнительные измерения спустя некоторое время и при вынесении заключения опираются на усредненный результат обследования.

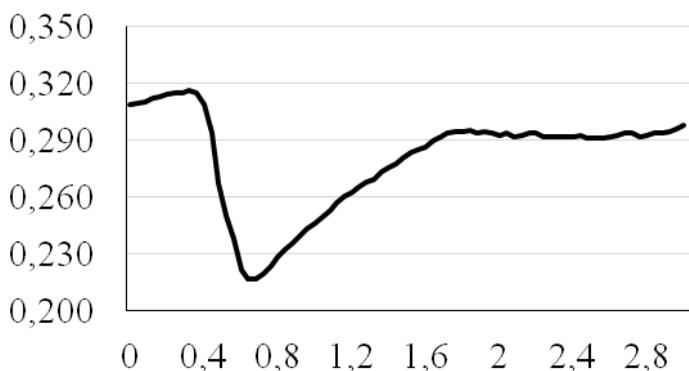


Рис. 2. Пример пупиллограммы

Для повышения точности пупиллометрического обследования предлагается использовать интеллектуальные методы анализа данных [2,5]. В большинстве подобных методов первым этапом анализа является подготовка данных [6,11]. Известно, что современные технологии анализа изображений далеки от совершенства и не позволяют со 100% точностью распознавать значимые признаки. Поэтому, при регистрации диаметра зрачка с использованием видеоаппаратуры возможно появление различных артефактов, шумов, аномалий и пропуск кадров. Таким образом, исходная пупил-

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

лограмма зачастую не может удовлетворять требованиям к качеству данных и, как следствие, использоваться для диагностики. Поэтому требуется производить оценку качества и очистку полученных данных. На рисунке 3 показан результат данных процедур.

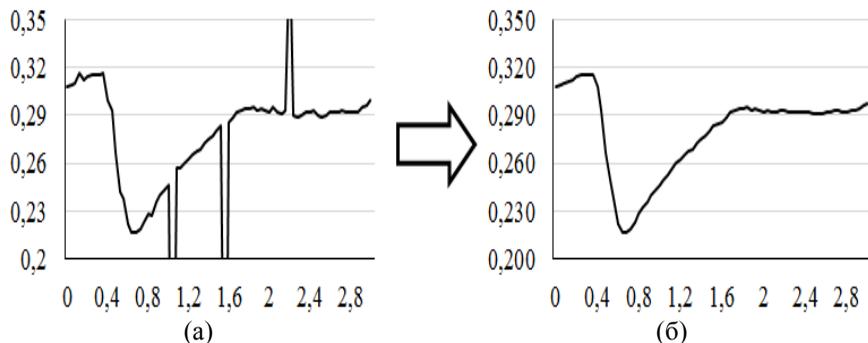


Рис. 3. Пример исходной (а) и очищенной (б) пупиллограмм

Как видно из рисунка, очищенная пупиллограмма (см. рис. 3б) является более гладкой за счет устранения шумов, аномалий и пропущенных значений.

На этапе подготовки данных также необходимо получить конкретные значения, характеризующие динамику изменения размеров зрачка [8]. В данном случае используются параметры временного ряда, характеризующие зрачковую реакцию человека на световое импульсное воздействие [9,10,12]. Пример пупиллограммы и ее параметры представлены на рисунке 4.

На рисунке представлен пример пупиллограммы здорового человека и положение параметров пупиллограмм, отражающих зрачковую реакцию человека на изменение освещенности: диаметр начальный (ДН), диаметр минимальный (ДМ), диаметр половинного сужения (ДПС), диаметр конечный (ДК), амплитуда сужения (АС), скорость сужения (СС), скорость расширения (СР), латентное время реакции (ЛВ), время сужения (ВС), время расширения (ВР), время половинного сужения (ВПС) и время половинного расширения (ВПр). Часть параметров измеряется непосредственно на кривой и является независимой друг от друга, а часть вычисляется по

значениям первой группы. Представив значения в виде таблицы 1, можно сформировать обучающую выборку данных для построения нейросетевой модели.

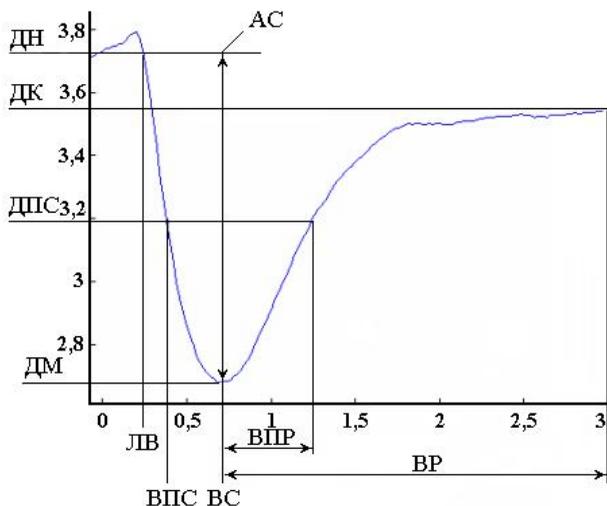


Рис. 4. Пример пупиллограммы и параметров кривой

Таблица 1

Формат выборки данных

№	ДН	ДМ	...	ВПР	Функциональное состояние
1	«значение»	«значение»	...	«значение»	«норма»
2	«значение»	«значение»	...	«значение»	«отклонение»
...
N	«значение»	«значение»	...	«значение»	«норма»

В таблице представлен в общем виде формат выборки данных, получаемых в ходе пупиллометрического измерения зрачко-

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

вой реакции человека на световое импульсное воздействие. Для случая бинарной классификации, когда не требуется установление точного диагноза, каждой группе данных можно присвоить один из двух классов – норма или отклонение от нормы (в зависимости от общности характера диагностируемого отклонения).

В настоящее время для решения задач бинарной классификации успешно применяются искусственные нейронные сети [7]. В данном случае, для построения нейросетевой модели диагностики зрачковой реакции человека на изменение освещенности достаточно однослойного персептрона, состоящего из входного, скрытого и выходного слоев. Необходимая и достаточная структура персептрона в таком случае определяется следствием из теоремы Арнольда – Колмогорова – Хехт-Нильсена, согласно которому максимальное число нейронов скрытого слоя персептрона ограничено правой частью следующего выражения [1]:

$$N_h \leq 2 \times N_{in} + 1, \quad (1)$$

где N_h – количество скрытых нейронов, а N_{in} – количество входных нейронов.

В свою очередь количество входных нейронов определяется количеством параметров пупиллограмм, а входными значениями для нейронов выступают нормированные значения вычисленных параметров. Таким образом, используя выражение (1) структура нейросетевой модели будет представлять собой персептрон, состоящий из 12 нейронов входного слоя, 25 нейронов скрытого слоя и одного выходного нейрона (см. рис. 5).

На рисунке представлена структура нейросетевой модели диагностики зрачковой реакции человека на изменение освещенности. По вычисленным значениям зрачковой реакции, поступающим на вход сети, производится классификация текущего состояния человека, где 0 – «норма», а 1 – «отклонение».

Проведение анализа зрачковой реакции человека на световое импульсное воздействие с применением методов интеллектуального анализа данных решаются следующие проблемы традиционного диагностического подхода:

- снимаются строгие требования к соблюдению статических лабораторных условий, при которых малейшие движения тела человека могли привести к искажению изображений зрачка;
- не требуется проведение дополнительных обследований, т.к. получение устойчивого результата возможно с первого раза;
- отсутствует необходимость экспертной интерпретации результата при диагностике конкретной группы отклонений.

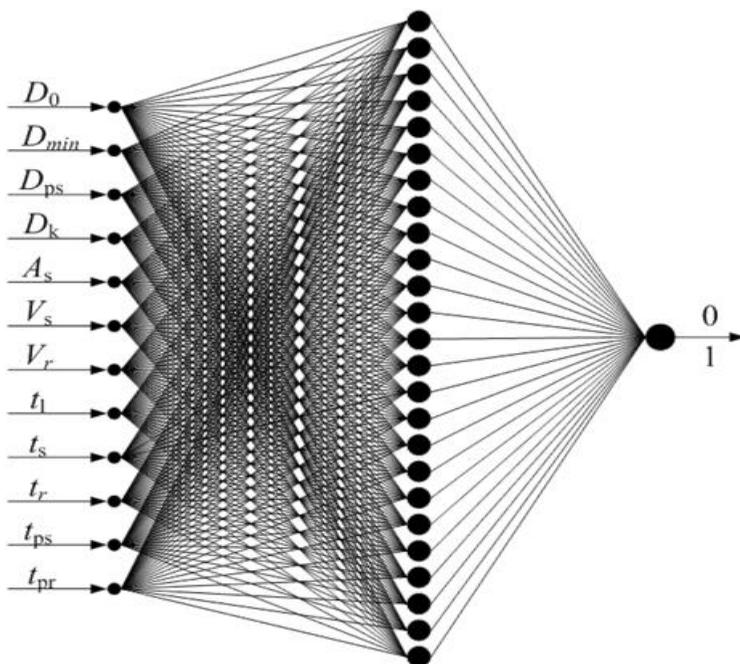


Рис. 5. Структура нейросетевой модели

Таким образом, использование нейросетевого подхода позволяет повысить точность и достоверность результатов пупиллометрического обследования человека. Следует отметить, что предложенный подход не ограничен применением в медицинской диагностике. Его можно использовать в корпоративных системах предрейсового контроля водителей автотранспортных средств, а также в системах обеспечения общественной безопасности для вы-

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

явления потенциально опасных лиц, находящихся в состоянии алкогольного или наркотического опьянения [2-5]. Нейросетевая диагностика может также применяться в качестве дополнительной меры безопасности в системах профайлинга пассажиропотока на объектах транспортной инфраструктуры, таких как аэропорты, вокзалы и другие места массового перемещения граждан [4].

Список литературы

1. *Hecht-Nielsen R.* Kolmogorov's mapping neural network existence theorem // IEEE First Annual International Conference on Neural Networks. San Diego. 1987. Vol. 3. P. 11-13.

2. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С.* Выявление потенциально опасных лиц в системах обеспечения общественной безопасности // Информационная безопасность и защита персональных данных. Проблемы и пути их решения: материалы VII Межрегиональной научно-практической конференции / под ред. О.М. Голембиовской. – Брянск: БГТУ, 2015. – С. 23-26

3. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С.* Концепция бесконтактной идентификации лиц, представляющих угрозу общественной безопасности // Вестник НЦБЖД. - № 3 (29). - 2016. – С. 83-88

4. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С.* Схема бесконтактной идентификации лиц находящихся в состоянии опьянения // Информатика и безопасность. – Т. 18. Вып. 3. – 2015. – С.360-365

5. *Ахметвалеев А.М., Катасёв А.С., Шлеймович М.П.* К вопросу о бесконтактном определении физиологического состояния человека // Вестник НЦБЖД. - № 1 (23). - 2015. – С. 13-21.

6. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. – 270 с.

7. *Катасёв, А.С.* Мягкие вычисления: учебное пособие / А.С. Катасёв, И.В. Аникин, В.И. Глова, М.А. Кривилёв, Р.И. Насыров. – Казань: Казанский государственный технический университет, 2010. – 206 с.

8. *Катасёва Д.В., Катасёв А.С., Курпичников А.П., Абянов Б.Э.* Нейронечеткая модель анализа и прогнозирования временных рядов // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 13. С. 127-131.

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ)

9. Колесников В.В., Кальницкая В.Е., Погребной А.И. и др. Особенности зрачкового рефлекса у больных наркоманией в период острой абстиненции // Вопросы наркологии. – 2004. – № 4. – С. 39-46.

10. Куцало А.Л. Пупиллометрия в качестве метода экспресс-диагностики наркотической интоксикации: диссертация кандидата медицинских наук: Санкт-Петербург, 2004 118 с.

11. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. – СПб.: Питер, 2009. – 624 с.: ил.

12. Фоменко В. Н., Курьянов А. С. Математические модели зрачковых реакций глаза человека (пупиллограмм) // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – Вып. 4 (25). – С. 220-230.

13. Хацевич Т.Н. Медицинские оптические приборы. Физиологическая оптика: уч. пособие. 3-е изд., испр. и доп. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 135 с.

14. Цимбал Ф.А., Цимбал М.В. Исследование порога чувствительности метода пупиллометрии при интоксикации фосфорорганическими соединениями // Токсикологический вестник. – 2007. – № 1. – С. 26-28.

**ANALYSIS OF HUMAN POTENTIAL REACTIONS
TO LIGHT-PULSE IMPACT**

Akhmetvaleev A.

Supervisor: A. Katasev, PhD, Associate Professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper describes of applying modern intellectual methods of data analysis in solving problems of the papilla-metric examination of patients. Describes the stages of data preparation and analysis pupillograph based on neural network approach, which allows to increase the accuracy of diagnosis result, and also reduce the number of constraints associated with using traditional method.

УДК 681.3

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ ГЕНЕРАТОРА
ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ
В БАЗИСЕ ПЛИС**

Ахунов М.Р., Гумиров А.И.

Научный руководитель: В.М. Захаров, д-р техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлена аппаратно-программная реализация в базисе ПЛИС генератора линейных псевдослучайных последовательностей в виде автономного автомата с выходом. Функция переходов автомата формирует M -последовательность с периодом $2^n - 1$. Функция выходов основана на параллельном преобразовании n -разрядных двоичных чисел M -последовательности максимальной системой биекций от двух двоичных переменных. Приведены оценки аппаратной сложности схемы генератора в зависимости от n .

Введение

Для построения аппаратных генераторов псевдослучайных последовательностей (ПСП) находят применение автоматные модели генераторов ПСП. В [1,2] представлена автоматная модель генератора ПСП с функцией переходов, реализующей M -последовательность и с функцией выхода, основанной на системе биективных преобразований и порождающей линейные ПСП, по частотным свойствам подобные на периоде $2^n - 1$ M -последовательностям.

Целью работы является решение задачи синтеза аппаратно-программного генератора псевдослучайных последовательностей с периодом $2^n - 1$ на основе модели [1,2] в базисе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) типа FPGA [3], получение оценок аппаратной сложности схемы и топологии размещения устройства на кристалле ПЛИС.

Реализация генератора ПСП задается программой – конфигурационным файлом, созданным САПР/Xilinx: ISEWebPACK 14.7 [4].

1. Определение модели генератора ПСП

Рассмотрим модель генератора ПСП в виде конечного автомата (КА), где S – конечное множество состояний; Y – конечное множество выходных букв; $\delta: S \rightarrow S$ – функция переходов; $\lambda: S \rightarrow Y$ – функция выхода, $|S|=|Y|$, состояния автомата КА представляются двоичными векторами $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$, выходные буквы представляются двоичными векторами $Z=(z_1, z_2, \dots, z_n)$. Функция переходов автомата реализована линейным регистром сдвига (ЛРС) с характеристическим примитивным двоичным полиномом степени n . Последовательность состояний ЛРС имеет период равный 2^n-1 , является M - последовательностью. Модель функции выхода λ определим в соответствии с [1,2].

Разобьем n -мерный вектор-столбец X , n четное число, на непересекающиеся пары переменных (x_{2i-1}, x_{2i}) , $i=1, \dots, n/2$. Введем в рассмотрение транспонированный кортеж вида

$$(g_1, g_2, \dots, g_m)^T, \quad (1)$$

где $m=n/2$, g_i – линейное биективное преобразование над вектором (x_{2i-1}, x_{2i}) , $i=1, \dots, n/2$. Обозначим $M=\{A_i\}$, $i=1, \dots, 24$ – множество невырожденных матриц, имеющих следующий общий вид

$$A_i = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & b_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

где элементы $a_{ij} \in \{0,1\}$, $i,j=1,2, b_1, b_2 \in \{0,1\}$. Мощность множества M , равна 24 соответствует максимальному числу биекций от двух двоичных переменных.

Введем вектор $(x_{2i-1}, x_{2i}, 1)$, являющийся расширением вектора (x_{2i-1}, x_{2i}) , $i=1, \dots, n/2$. Для матриц $A_i \in M$, $i=1, \dots, 24$, в качестве преобразуемого вектора применим вектор $(x_{2i-1}, x_{2i}, 1)$, $i=1, \dots, 24$. Тогда в соответствии с [2] в системе (1) линейное биективное преобразование g_i вида $Z=AX$, где $A=(a_{ij})$ – двоичная невырожденная матрица размера 3 и равенство понимается по модулю два, над вектором, $(x_{2i-1}, x_{2i}, 1)$, $i=1, 24$, можно представить однозначно соответствующей невырожденной матрицей $A_i \in M$, $i=1, 24$.

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

Систему (1) будем рассматривать как модель функции выхода λ в автомате КА. При применении в системе (1) множества матриц $A_i \in M$, $i=1,24$, величина $n=48$ и период M -последовательности равен $2^{48}-1$. Система (1), в соответствии с [1] допускает кратное применение в элементах g матриц $A_i \in M$, что позволяет увеличить n и соответственно период M -последовательности и ПСП, формируемой функцией выхода.

2. Аппаратно-программная реализация генератора ПСП

В работе функциональная реализация модели КА в базисе ПЛИС/ FPGA представлена для случая $n=48$ с числом матриц $A_i \in M$, соответственно 24. Реализация модели КА произведена на основе инструментального комплекта [3] Spartan-3A/3ANStarterKit, чип: ПЛИС типа FPGAXC3S700A с применением САПР: Xilinx ISE WebPACK 14.7 [4].

На рис. 1 представлена функциональная схема модели КА при $n=48$, полученная на основе САПР в базисе библиотечных элементов. Генератор M - последовательности, представляется характеристическим примитивным полиномом $f(x)=x^{48}+x^7+x^5+x^4+x^2+x^1+1$.

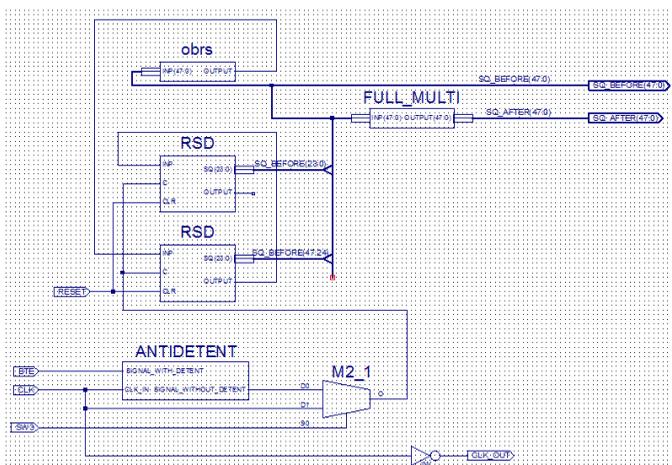


Рис. 1. Функциональная схема ГПСП в базисе ПЛИС

На схеме обозначено:

RSD — регистр сдвига;

obrs — обратная связь;

FULL_MULTI — каскад матричных умножителей, то есть здесь умножается невырожденная матрица A_i на поступающий вектор $(x_{2i-1}, x_{2i}, 1)$;

SW3 — переключатель определяет переключение по кнопке или от генератора;

ANTIDETENT — антидребезг кнопки.

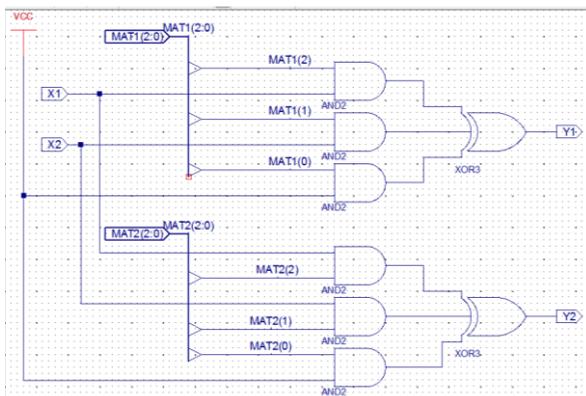


Рис. 2. Матричный умножитель

Технические характеристики функциональной реализации схемы КА, представлены в таблице 1, генерируемой редактором отчетов САПР:

Таблица 1

Используемая логика	Используется	Доступно	Используется, %
Количество LUT	280	11776	3
Количество занятых секций	140	5888	3
Количество связанных ИОВ (блоки ввода/вывода)	101	372	27,2

ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

На рисунке 3 представлен результат автоматического размещения элементов схемы в ПЛИС.

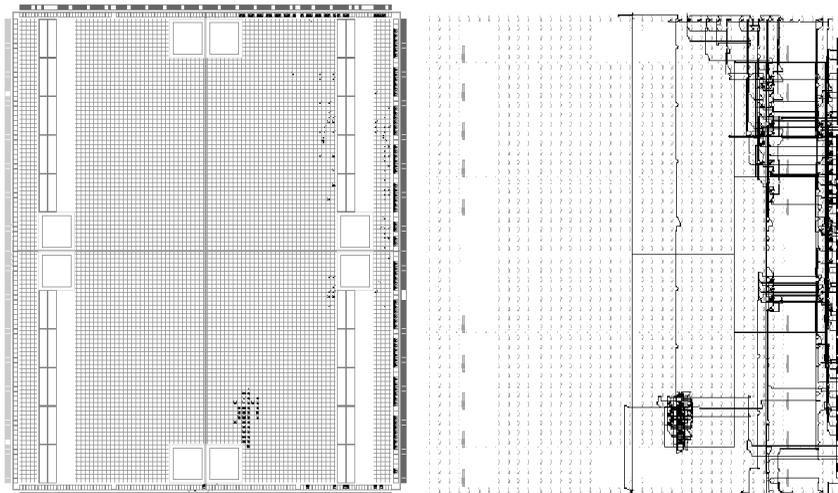


Рис. 3. Отображение размещения элементов схемы и размещение соединительных дорожек

Из данных таблицы 1 и рис. 3 следует возможность реализации автоматной модели КА ГПСП в базисе ПЛИС [3] при $n \gg 48$ (с учетом возможности кратного применения в системе (1) матриц $A_i \in M$).

Список литературы

1. Захаров В.М., Зелинский Р.В., Новеньков К.О. Модель представления псевдослучайных последовательностей на основе линейных и аффинных преобразований // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. - Казань: КГТУ. - 2013. - №4. - С. 164-169.
2. Захаров В.М., Шалагин С.В., Новеньков К.О., Бариев А.Ф. Автоматная модель представления псевдослучайных последовательностей на основе системы минимальных невырожденных преобразований // «Инновационные, информационные и коммуникационные технологии»: сб. трудов XIII междунар. Научно-практич.

конф , 2016 г. / Под. Ред. С.У.Увайсов – М.: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА им. проф. Жуковского,2016.–С.359-361.

3. [Электронный ресурс] // Спецификация ПЛИС семейства Spartan-3 фирмы Xilinx (Spartan-3 Generation FPGA User Guide) URL:http://www.xilinx.com/support/documentation/user_guides/ug332.pdf (Дата обращения: 16.02.2017)

4. [Электронный ресурс] // Исчерпывающее учебное пособие по САПР ISE (ISE In-Depth Tutorial) URL: https://www.xilinx.com/support/documentation/sw_manuals/xilinx11/ise11tut.pdf. (Дата обращения: 15.05.2017)

HARDWARE-SOFTWARE IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATON MODEL OF A PSEUDO-RANDOM SEQUENCE GENERATOR IN THE FPGA BASIS

Akhunov M., Gumirov A.

Supervisor: V. Zakharov, Dr. Tech. Sciences, Professor
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

Represented by the hardware-software implementation in FPGAs basis linear pseudorandom sequence generator in the form of an autonomous automaton with output. Automaton transition function generates an M-sequence with period $2n-1$. The output function is based on the parallel transformation of the n-bit binary numbers of the M-sequence by the maximum bijection system from two binary variables. The estimations of the hardware complexity of the oscillator circuit depending on n.

УДК 681.322 + 621.37

ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

Владимиров Д.С.

Научный руководитель: Д.П. Данилаев, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В докладе рассмотрен подход к построению электронного устройства охранной системы для защиты компьютеров. Предложено сочетание способов контроля состояния объекта, повышающее надежность охраны, применение радиоканала для передачи информации о его состоянии.

Системы охранной сигнализации нашли большое применение в быту, а также в составе сложных технических систем и объектов. Однако в стороне остаются задачи контроля состояния и охраны отдельных технических систем и устройств, а также оповещения владельца (пользователя) о внештатной ситуации. Среди подобных устройств отдельно можно выделить защиту компьютеров от взлома, проникновения в их базы данных, а также от кражи этих устройств. Целью доклада является обсуждение подхода к построению электронного блока контроля состояния и охраны компьютера.

В настоящее время для охраны электронных устройств: компьютеров, мобильных компьютеров (планшетов и ноутбуков), смартфонов, наибольшее распространение нашли программные и механические средства защиты [1]. Эти средства обладают существенными недостатками: механические средства легко поддаются взлому, а программные – удалению, в том числе при реформатировании дисков. Кроме того, без подключения компьютера к сети интернет, определение места нахождения пропавшего компьютера, как правило, не возможно. Все это дает вору время похитить информацию, или разобрать компьютер на комплектующие.

Начинают появляться электронные средства защиты компьютеров. Например, на основе датчика перемещения [2]. Если си-

стемный блок переносится, включается сирена в 110 дБ. Охранная система снабжена аккумулятором, рассчитанным на трое суток автономного питания. Управлять работой системы можно брелоком, который настраивается на одну из ряда возможных частот. Недостатком этой системы являются: большие габариты и масса блока аккумуляторов, ограниченное время работы при питании сирены во включенном состоянии, ограниченный ряд возможных частот, выделяемых для управления брелоком.

Появилось электронное устройство защиты от вскрытия корпуса компьютерного блока FOX Umbrella 2 [3]. Модуль предназначен для информирования о фактах вскрытия боковой крышки системного блока, а также о температурном режиме компонентов компьютера, об уровне запыленности корпуса ПК. Предусмотрена автоматическая отправка электронного сообщения с информацией о факте вскрытия. Реализована возможность фиксации факта вскрытия, при полном отсутствии подаваемого к ПЭВМ электропитания. Недостатком устройства является – отправка сигнала тревоги системному администратору посредством локальной вычислительной сети, не рассмотрены возможности беспроводного способа передачи сигналов.

Еще один вариант охранной системы, которая нашла широкое распространение, – это USB сигнализация на компьютер [16]. Этот прибор подключается к любому устройству, оснащеному USB-входом. Стоит вытащить USB-кабель из охраняемого прибора, как устройство мгновенно включает сирену. Даже в случае отключения питания охраняемого предмета: компьютера, ноутбука, – USB сигнализация будет работать от собственного источника питания, полный заряд которого рассчитан на работу в течение трех суток. Недостатки предлагаемой системы: заряд автономного источника питания быстро расходуется, если устройство сработает; устройство не обеспечивает дистанционный контроль и управление.

Ни одна из рассмотренных систем не предусматривает дистанционную передачу информации о состоянии охраняемого объекта по беспроводным каналам связи. Поэтому предложен поход разработки охранной системы с разными способами контроля со-

ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

стояния и передачи информации. На основе проведенного анализа в нашем подходе к построению системы предложено применение следующих датчиков: гироскоп (датчик движения); геркон (контроль вскрытия); датчик напряжения (контроль отключения).

Предложено дистанционное управление электронным устройством защиты компьютера по радиоканалу с помощью автономного брелока, а также передача информации о состоянии объекта по этому же каналу. Предусмотрено кодово-временное разделение каналов передачи данных. Предусмотрено возможность введения резервного канала передачи данных GSM – канал. Например, с помощью SMS информирования.

Разработка электронного устройства на микроконтроллере позволяет совместить целый ряд функций в одном цифровом блоке. Например, опроса датчиков и контроля за состоянием объекта, принятия решения, формирования сигнала тревоги, введение времени задержки, управление каналом передачи данных, возможности пользовательской настройки кода доступа к системе, кодового разделения каналов передачи информации, а также управления этим блоком. Таким образом, обеспечивается многофункциональность разрабатываемого устройства.

Для проектирования системы выбран микроконтроллер AT-MEGA 32. Микроконтроллеры AVR имеют более развитую систему команд (чем например PIC), производительность, приближающуюся к 1 MIPS/МГц, Flash ПЗУ программ с возможностью внутрисхемного перепрограммирования [5]. Изделия фирмы Atmel снабжены доступным, бесплатным программным обеспечением и средствами поддержки разработки. Существует полный спектр компиляторов, программаторов, ассемблеров, отладчиков, разъемов и адаптеров. Для программирования AVR можно обойтись вовсе без аппаратного программатора. Они отличаются в среднем невысокой стоимостью. У всех современных AVR одинаковое ядро с единой системой команд. Есть лишь некоторые различия на уровне периферии. Т.е. код для одного чипа будет без переделок работать в другом. Важно также наличие библиотек для подключения готовых модулей и внешних устройств.

Структурная схема электронного устройства защиты компь-

ютеров представлена на рисунке 1.

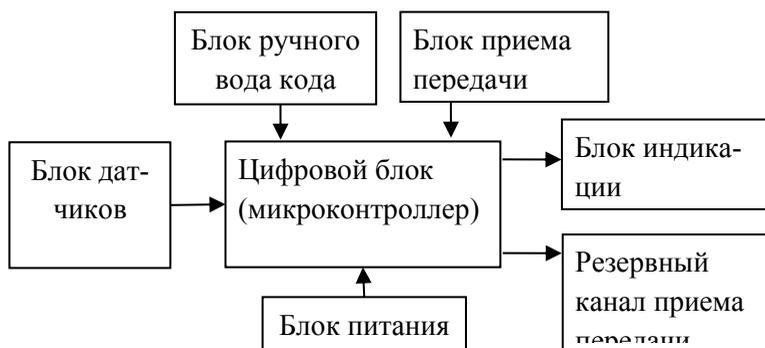


Рис. 1. Структурная схема электронного блока контроля и охраны компьютера

В представленной структуре блок датчиков включает электронный модуль гироскопа, геркон, и вывод блока питания компьютера 3,3 В, как индикатор напряжения. Блок питания предусматривает аккумулятор на 9 В, который заряжается при включенном напряжении питания компьютера. Блок ручного ввода кода представляет собой матричную клавиатуру, которая может быть размещена в стенке корпуса компьютера. Блок приема передачи включает модуль приемопередатчика 2,4 ГГц NRF24L01. Этот модуль является конвертером интерфейса SPI в радиосигнал, который берет на себя функции преобразования проводного интерфейса SPI в радиосигнал. Модуль содержит приемник, передатчик и миниатюрную антенну. Основа модуля микросхема nRF24L01+ фирмы Nordic Semiconductor.

Блок индикации может быть выполнен на отдельных светодиодах, светодиодной сборке или матрице, в зависимости от пожеланий пользователя. Блок индикации предназначен для отображения режима работы электронного устройства – охраны или ожидания. Блок индикатора может не включаться в принципиальную схему, для того чтобы не обнаруживать присутствие устройства защиты. Также блок индикации может быть заменен устройством звуковой сигнализации. Резервный канал приема передачи может

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

быть реализован на основе GSM модуля. Вариант принципиальной схемы подключения датчика открытия крышки – геркона (S1), и звуковой сигнализации приведен на рисунке 2. Также в данном варианте схемы предусмотрен ручной запуск устройства в режим охраны.

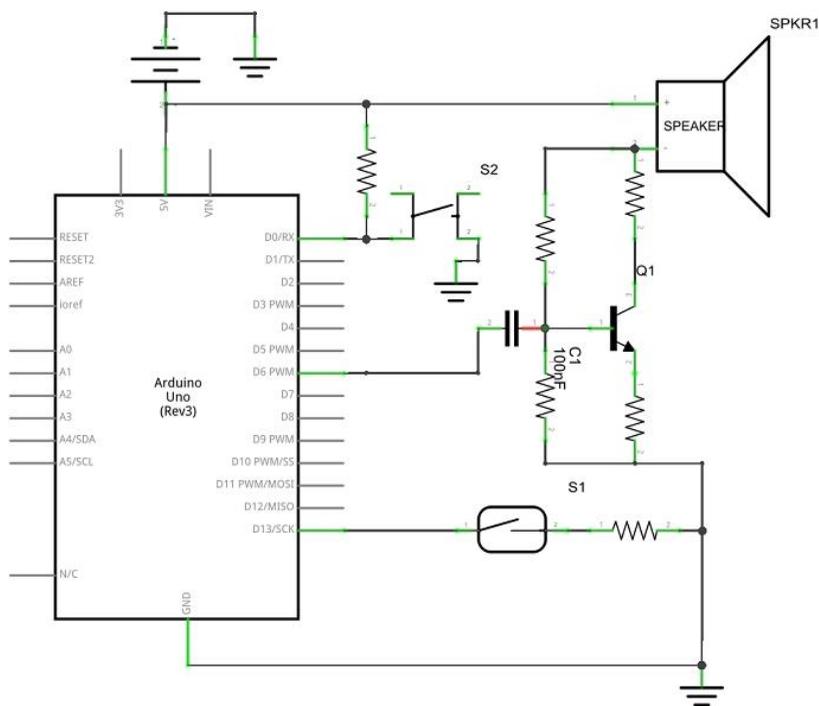


Рис. 2. Схема подключения геркона, и звуковой сигнализации

В общем случае алгоритм работы предусматривает постановку устройства в режим охраны сигналом внешнего брелока, поступающего на блок приема передачи. Также по команде с брелока могут быть запрошены параметры состояния объекта – включен / выключен, вскрыт / закрыт, состояние перемещения. В случае появления несанкционированного действия на блок приема передачи с задержкой в 10 сек. выдается сигнал тревоги. Сигнал может быть

передан нескольким абонентам одновременно, например, на пульт охраны. Время задержки регулируется.

Алгоритм работы, реализованный в программе для микроконтроллера может быть адаптирован к новым задачам, новым датчикам, новым каналам передачи информации. Таким образом, обеспечено создание достаточно универсального в части функций, перепрограммируемого устройства.

Список литературы

1. *Черевко П.* «Противоугонки» для мобильных компьютеров [электронный ресурс] – URL: <http://cherev.ru/protivougunki-dlya-mobilnykh-kompyuterov>. (Доступ свободный. Дата доступа 19.05.2017).

2. Противоугонная сигнализация для компьютера [электронный ресурс]. Электронный портал «Overclockers». – URL: https://www.overclockers.ru/hardnews/18170/Protivougonnaya_signalizatsiya_dlya_kompyutera.html. (Доступ свободный. Дата доступа 19.05.2017).

3. Программно-аппаратный комплекс FOX Umbrella 2 [электронный ресурс]. – URL: https://www.fox-comp.ru/catalog/aksesuary/programmno_apparatnyy_kompleks_fox_umbrella_2/. (Доступ свободный. Дата доступа 19.05.2017).

4. USB Сигнализация на компьютер [Электронный ресурс]. – URL: <http://tesakov.com/usb-signalizatsiya-na-kompyuter/>. (Доступ свободный. Дата доступа 19.05.2017).

5. AVR. Учебный Курс. Вводная. Что такое микроконтроллер. [Электронный ресурс]. Сайт EASY ELECTRONICS: электроника для всех. – URL: <http://easyelectronics.ru/vvodnaya-ili-chtotakoe-mikrokontroller.html>. (Доступ свободный. Дата доступа 25.05.2017).

ELECTRONIC DEVICE FOR COMPUTER SYSTEMS PROTECTION

Vladimirov D.

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

Supervisor: D. Danilaev, Cand. Sci. (Technical), Assoc. prof.
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

The approach to the computers security system electronic device construction is considered in this report. A combination of object control ways and radio channel using for information transmitting are proposed.

УДК 543.42:004.056

ЗАЩИЩЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ АЛГОРИТМА КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА DBSCAN

Газимов Р.М.

Научный руководитель: И.В. Аникин, к.т.н.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Применение алгоритмов интеллектуального анализа данных, в частности алгоритмов кластерного анализа, для данных, хранящихся в распределенном виде, может привести к нарушению безопасности информации при ее передаче через открытые каналы. В работе представлен защищенный протокол для алгоритма кластерного анализа DBSCAN.

Понятие интеллектуального анализа данных

Большие объемы информации, производимые различными вычислительными устройствами (компьютерами, мобильными телефонами и т.д.), как правило, хранят в себе полезные для дальнейшего использования знания. В настоящее время существует несколько технологий, используемых для извлечения этих знаний, однако в данной статье речь пойдет о Data Mining.

Data Mining (DM) – это [2] обнаружение в "сырых" данных ранее неизвестных нетривиальных практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности. Выделяет следующие основные категории алгоритмов DM: классификационный анализ, анализ ассоциативных правил и кластерный анализ. Целью анализа ассоциативных правил является [2] определение часто встречающихся наборов объектов в большом множестве таких наборов. Простейшим примером практического применения анализа ассоциативных правил является продуктовая корзина, где, анализируя покупки, выявляются какие из приобретаемых товаров покупатели чаще всего берут вместе. В рамках решения задач классификационного анализа данных осуществляется определение [2] к

какому из известных классов относятся исследуемые объекты. На практике данная категория алгоритмов DM может применяться в банковской сфере, например при определении кредитоспособности клиента. Задача кластеризации заключается в [2] разделении исследуемого множества объектов на группы (кластеры) "похожих" объектов. Данная категория алгоритмов применяется для разделения клиентов на группы в зависимости от совершаемых ими покупок.

Проблема защиты информации в процессе анализа данных

Нередки случаи, когда данные хранятся на нескольких (независимых друг от друга) ресурсах. В таком случае для выполнения анализа данных необходимо собрать их на одном хранилище, в рамках которого затем извлечь полезные знания. Следует принимать во внимание, что использование незащищенных каналов для передачи информации на единый ресурс может привести к нарушению безопасности передаваемых сведений. Хорошим решением для обеспечения конфиденциальности обменивающимися данными является организация криптированных каналов между участниками, однако такой подход гарантирует защищенность лишь от внешнего злоумышленника, без учета, что нарушителем может оказаться и пользователь, участвующий в распределенном анализе данных.

Защищенный алгоритм кластерного анализа DBSCAN

Основная идея предлагаемого протокола заключается в создании множества криптозащищенных каналов между участниками, что позволит в безопасном режиме передать все данные одной стороне, которая затем произведет их анализ.

В общем виде протокол защищенного кластерного анализа DBSCAN выглядит следующим образом:

```
for obj_first = 1 to n do  
  if объект obj_first не посещён  
  then  
    объект obj_first помечается, как посещен  
    вычисление number_obj  
    if  $N_{EPS} \leq number\_obj(a[])$   
    then  
      cluster_id = cluster_id + 1  
      cluster [cluster_id] = obj_first
```

анализ массива $a[]$
обнуление массивов $a[]$ и $b[]$
end for

В ходе работы протокола рассматриваются все не посещённые объекты obj_first , для которых определяется количество точек $number_obj$, расположенных в пределах Eps . Если значение $number_obj$ оказывается большим или равным N_{EPS} , то объект obj_first добавляется в кластер, а объекты в пределах Eps накапливаются в массиве $a[]$ и рассматриваются отдельно.

При анализе массива $a[]$ также используется массив $b[]$, который включает в себя объекты, расположенные в пределах Eps каждого из элементов массива $a[]$. По завершению работы с массивами они обнуляются для дальнейшего использования при анализе следующего объекта obj_first .

Для определения значения $number_obj$ все стороны вычисляют вектор $\vec{X}_i = |obj_first - obj_second|$, равный расстоянию между объектами obj_first и obj_second . Данная величина является конфиденциальной, следовательно, ее передача в открытом виде может привести к раскрытию данной информации.

Для осуществления вычислительных операций выбрана сторона P_r , которой необходимо собрать данные со всех участников и произвести над этими данными кластерный анализ. Хорошим решением по защите конфиденциальной информации, которой обмениваются участники, от внешних злоумышленников, является организация криптоканалов между стороной P_r и каждым из участников. Однако в таком случае P_r узнает данные остальных сторон, что приведет к нарушению конфиденциальности этих данных. Следовательно, задача усложняется необходимостью обеспечения безопасности передаваемых сведений, как от внешних нарушителей, так и от других участников анализа данных.

Другими словами задача сводится к тому, чтобы стороны передали P_r свои данные в измененном виде, причем измененные таким образом, чтобы результаты операций над этими данными соответствовали значениям, аналогичным операциям над открытыми данными.

ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Иначе говоря, необходимо выбрать инструмент, позволяющий:

- 1) обеспечивать защищённость данных от внешних злоумышленников;
- 2) обеспечивать защищённость данных от других участников;
- 3) совершать мат. операции над закрытыми данными и получать результат, аналогичный операциям над открытыми данными.

В качестве инструмента, позволяющего осуществлять такие действия, выбрано гомоморфное шифрование. Сокрытие конфиденциальных данных осуществляется следующим образом: выбирается сторона P_1 , совместно с которой стороны производят операции по сокрытию данных, которые затем отправляются P_r .

Очевидно, что при передаче своих данных стороне P_1 , будет нарушена конфиденциальность, поэтому, для начала, каждая из сторон ($P_2 \dots P_r$) генерируют свою ключевую пару для гомоморфного шифрования. Сторона P_1 , получив зашифрованный вектор $E_i = (\overline{X}_i)$ и криптографический ключ E_i , шифрует на данном ключе сгенерированный случайным образом вектор \overline{V}_i и вычисляет значение $E_i(\overline{V}_i) + E_i(\overline{X}_i) = E_i(\overline{V}_i + \overline{X}_i)$. Данный зашифрованный вектор сторона P_1 отправляет соответствующему участнику. Стороны получают свои вектора и расшифровывают их. В результате сторона P_1 не знает значения векторов других участников, которые, в свою очередь, получают измененные вектора, не зная параметр изменения векторов других сторон.

При передаче стороне P_r измененных векторов, возможна ситуация, когда участник P_1 перехватывает вектор и, зная принадлежность каждого вектора конкретной стороне, может определить искомое значение каждого вектора.

В целях организации безопасного канала между участниками и стороной P_r , предлагается использовать традиционные методы криптозащиты, а именно, асимметричное шифрование. Для этого сторона P_r генерирует ключевые пары (OK_j, SK_j) , необходимые при защищенном взаимодействии. Открытый ключ OK_j отправляется

соответствующему адресату, на котором он шифрует свой измененный вектор \vec{X}_j^1 и отправляет стороне P_r . Полученные вектора расшифровываются на соответствующих ключах и определяется значение вектора $\vec{Y} = \sum_{i=1}^r (\vec{X}_i^1) + \vec{X}_1^1 + \vec{X}_r^1$.

Сравнение вектора Y со значением Eps определяет, находится ли объект *obj_second* на расстоянии Eps от объекта *obj_first*. В случае положительного результата объект *obj_second* добавляется в массив $a[]$. По завершению анализа всех объектов *obj_second* осуществляется сравнение количества элементов в массиве $a[]$ со значением N_{Eps} . Другими словами выясняется, находится ли вокруг объекта *obj_first* необходимое количество других объектов в пределах Eps -окрестности.

Заключение

В статье представлено описание работы защищенного протокола для алгоритма кластерного анализа данных DBSCAN. Протокол обеспечивает безопасность информации каждого из участников распределенного анализа данных, в частности при их передачи и обработке. Кроме того, протокол осуществляет комплексное решение проблемы защиты информации, а именно обеспечивает защищенность, как от внешних злоумышленников, так и от других участников кластерного анализа.

Как итог, разработан протокол для алгоритма кластерного анализа DBSCAN, позволяющий эффективно обеспечивать защищенность информации на всех этапах работы алгоритма с сохранением полезности данных.

Список литературы

1. Аникин И.В., Газимов Р.М. Защищенный протокол кластеризации DBSCAN для вертикально распределённых данных // Информация и безопасность. 2016. Т. 19. № 4 (4). С. 515-518.
2. Газимов Р.М., Аникин И.В. Подходы к обеспечению конфиденциальности данных при их обработке в рамках технологии интеллектуального анализа данных // Вестник казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 14. С. 126-128.

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

3. *Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И.* Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 336 с.: ил.

4. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и компьютерная лингвистика : учеб. пособие / Большакова Е.И., Клышинский Э.С., Ландэ Д.В., Носков А.А., Пескова О.В., Ягунова Е.В. — М.: МИЭМ, 2011. — 272 с.

5. *J. Vaidya and C. Clifton*, «Privacy-preserving k -means clustering over vertically partitioned data» in Proc. 9th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discovery Data Mining, 2003, pp. 206-215.

6. *Lei Xu, Chunxiao Jiang, Jian Wang, Jian Yuan, Yong Ren.* Information Security in Big Data: Privacy and Data Mining, IEEE Access, 2014, pp. 1149-1176.

**PRIVACY-PRESERVING DATA MINING IT TERMS
OF DBSCAN CLUSTERING ALGORITHM**

Gazimov R.

Supervisor: I. Anikin, PhD

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The use of data mining algorithms, in particular clustering analysis, for distributed data can lead to a breach of the protection of information during transmitting them by open channels. Paper contains privacy-preserving DBSCAN clustering protocol.

УДК 004.029.359

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТИ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ

Давлиева А.С.

Научный руководитель: В.Е. Гвоздев, д.т.н., профессор
*(Уфимский государственный авиационный
технический университет, г. Уфа)*

В настоящей работе приводятся результаты исследований, целью которых было определение степени уязвимости при разбросе параметров компонентов системы.

В силу того, что системы обработки данных и управления, все больше приобретают роль системообразующих компонентов в составе сложных технических систем, функционирующих в разных режимах [1], возрастает значимость совершенствования методической и инструментальной базы анализа безопасности систем этого класса. К числу задач, связанных с анализом безопасности систем, относится задача оценки реакции системы на различного рода нежелательные события, т.е. задача оценки уязвимости [2]. Понятие «уязвимость» допускает различные толкования. Отмечается, что в силу высокого уровня неопределенности характера, интенсивности, степени негативных воздействий инициирующих событий, при анализе уязвимости следует ориентироваться на использование математико-статистических методов.

Постановка задачи оценки влияния вариативности параметров системы на показатели функциональной уязвимости

Исходными данными задачи оценки влияния вариативности параметров системы на показатели функциональной уязвимости являются [3]:

1. Модель состояний системы и переходов между состояниями;

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

2. Известные номинальные значения показателей эффективности системы $\mathcal{E}_i, (i = \overline{1; n})$, а также диапазоны отклонений $\{\Delta\mathcal{E}_i^{(H)}, \Delta\mathcal{E}_i^{(6)}\}$ показателей эффективности в меньшую и большую стороны.

3. Известные номинальные значения интенсивностей переходов $\lambda_{ij}, (i = \overline{1; n}; j = \overline{1; m})$, а также диапазоны отклонений $\{\Delta\lambda_{ij}^{(H)}, \Delta\lambda_{ij}^{(6)}\}$.

Требуется оценить вероятность $P(\mathcal{E}_\Sigma < \mathcal{E}_\Sigma^{(\min)})$ того, что показатели средней эффективности системы с вариативностью параметров окажутся меньше наихудшего значения показателя средней эффективности $\mathcal{E}_\Sigma^{(\min)}$ системы, функциональные характеристики которой целенаправленно ухудшались.

Считается, что $\mathcal{E}_\Sigma^{(\min)}$ соответствует системе, у которой отсутствует вариативность параметров, т.е. все параметры системы совпадают со своими номинальными значениями.

На рис.1 представлена модель состояний системы. Номинальные значения средней эффективности системы при пребывании ее в разных состояниях представлены в таблице 1.

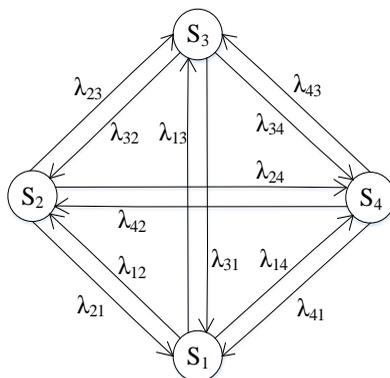


Рис. 1. Модель состояний системы

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ)

Номинальные значения интенсивностей переходов представлены в таблице 2.

Таблица 1

Состояние системы	S_1	S_2	S_3	S_4
Значение средней эффективности	[0;20]	[10;30]	[20;40]	[30;50]

Наихудшее значение показателя эффективности $\mathcal{E}_\Sigma^{(\min)}$ равно десяти, при этом значение финальной вероятности p_1 состояния S_1 равно единице.

Таблица 2

Интенсивность переходов	λ_{12}	λ_{21}	λ_{23}	λ_{32}	λ_{34}	λ_{43}
Значение интенсивности	[0;20]	[0;20]	[0;20]	[0;20]	[0;20]	[0;20]
Интенсивность переходов	λ_{14}	λ_{41}	λ_{13}	λ_{31}	λ_{24}	λ_{42}
Значение интенсивности	[0;20]	[0;20]	[0;20]	[0;20]	[0;20]	[0;20]

При заданных значениях $\mathcal{E}_i, (i = \overline{1;4})$ наихудшие значения среднего показателя эффективности $\mathcal{E}_\Sigma^{(\min)}$ равно десяти (при значениях финальных вероятностей $p_i = 0, (i = \overline{2;4}); p_1 = 1$. В ходе эксперимента значения диапазонов $\Delta\mathcal{E}_i$ и $\Delta\lambda_{ij}$ в k -м статистическом эксперименте формировались по правилу:

$$\Delta\mathcal{E}_i^{(g)} = \alpha_{\mathcal{E}} \cdot \mathcal{E}_i; \Delta\lambda_{ij}^{(g)} = \alpha_{\lambda} \cdot \lambda_{ij},$$

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

где $\alpha_{\vartheta}, \alpha_{\lambda} \in \{0.1; 0.3; 0.8; 1.0\}$.

В таблице 3 в качестве примера приведены значения $P_k(\mathcal{E}_{\Sigma} < \mathcal{E}_{\Sigma}^{(\min)})$, соответствующие разным значениям $\alpha_{\vartheta}, \alpha_{\lambda}$.

Таблица 3

α_{ϑ}	0.1	0.3	0.8	1.0
$P(\mathcal{E}_{\Sigma} < \mathcal{E}_{\Sigma}^{(\min)})$	1	1	0,9855	0,966
α_{λ}	0.1	0.3	0.8	1.0
$P(\mathcal{E}_{\Sigma} < \mathcal{E}_{\Sigma}^{(\min)})$	1	1	0,999	0,995
$\alpha_{\vartheta}, \alpha_{\lambda}$	0.1	0.3	0.8	1.0
$P(\mathcal{E}_{\Sigma} < \mathcal{E}_{\Sigma}^{(\min)})$	1	1	0,9955	0,958

Из полученных результатов можно сделать заключение, что разброс характеристик компонентов системы может рассматриваться как фактор уязвимости системы.

Заключение

Вариативность параметров системы может выступать в качестве иницирующего события, приводящего к недопустимым изменениям свойств системы. При этом разброс параметров компонентов системы может приводить к результатам худшим, чем сознательное ухудшение свойств системы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-07-00351 А «Методологические основы обеспечения гарантоспособности систем передачи телеметрической информации о состоянии бортовых авиационных систем с использованием технологий интеллектуального анализа данных».

Список литературы

1. *Мостовой А.Я.* Управление сложными техническими системами: конструирование программного обеспечения спутников ДЗЗ. Монография. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 352 с.

2. Махутов Н.А., Резников Д.О. Оценка уязвимости технических систем и ее место в процедуре анализа риска// Проблемы анализа риска. Т. 5. 2008. № 3. С. 72-85.

3. Гвоздев В.Е., Блинова Д.В., Давлиева А.С., Тесленко В.В. Построение базовых моделей внешней эффективности АПК на основе методов математической статистики// Программная инженерия: Научный журнал. – Т.7. – № 11, 2016. – С. 483-489.

**STRUCTURAL ANALYSIS OF VULNERABILITY
IN INTERVAL PARAMETERS OF DATA PROCESSING
AND CONTROL SYSTEM**

Davlieva A.

Supervisor: V. Gvozdev, Doctor of Engineering Sciences, Prof.
(Ufa State Aviation Technical University)

In this paper, the results of the research are presented; the purpose of the research was to determine the degree of vulnerability in the system components parameters spread.

УДК 004

КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ И СПОСОБЫ ЕЕ УДАЛЕНИЯ В СЕТИ INTERNET

Панушкин Г.Н.

Научный руководитель: М.В. Тумбинская
(*Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

Доклад посвящен удалению нежелательной информации в сети интернет. Предложена классификация нежелательной информации в сети Интернет, предложен анализ web-ресурсов, позволяющих удалить нежелательную информацию в сети Internet, описаны способы удаления нежелательной информации в сети Интернет.

В наши дни интернет стал неотъемлемой частью нашей жизни. Каждый день миллиарды людей пользуются интернетом для поиска интересующей их информации, но далеко не вся информация в сети Internet является полезной. Помимо полезной информации, в сети Internet находится множество нежелательной информации. Каждый день пользователи сети Internet сталкиваются с навязчивой информацией, которая мешает комфортно использовать сетевые ресурсы, осуществлять поиск интересующей пользователя информации. Каждый день в сеть попадает множество информации, которая может является негативной как для конкретной персоны, так и для предприятия, компании, бренда. Помимо этого, в сети Internet находится большое количество незаконной информации.

Повышение эффективности удаления нежелательной информации в сети интернет является актуальной задачей защиты информации.

Классификация нежелательной информации

Нежелательную информацию можно классифицировать следующим образом:

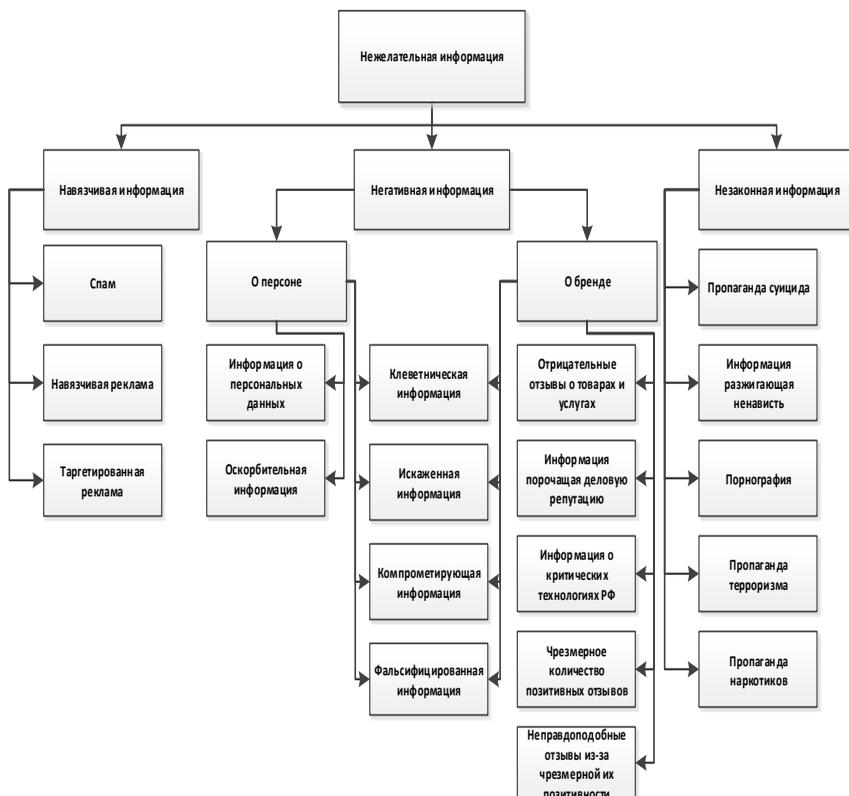


Рис.1. Классификация нежелательной информации

Удалить нежелательную информацию в сети Internet можно разными способами. Существуют организационные, правовые и программные методы удаления нежелательной информации. Метод удаления нежелательной информации определяется в зависимости от вида нежелательной информации. Также стоит понимать, что существуют легитимные и нелегитимные способы удаления информации.

Анализ web-ресурсов, обеспечивающих удаление нежелательной информации в сети Интернет

В работе было проведено сравнение более 20 web-ресурсов по удалению нежелательной информации в сети Internet. Анализ

ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

проводился в соответствии с критериями: контакт с владельцем ресурса, на котором размещена нежелательная информация, контакт с автором нежелательной информации, юридические методы удаления, технические методы удаления (с использованием специального программного обеспечения удаления информации, с использованием методов программирования, замещение негативного смысла информации на позитивный), аутсорсинг удаления информации.

В результате анализа 20 web-ресурсов предоставляющих услуги по удалению нежелательной информации в сети Internet, было определено, что ресурсы VASTUTNET [20], Digital Sharks [14], Репутация.Москва [5] используют широкий функционал удаления нежелательной информации. Из 7 заданных способов, данные ресурсы используют 5.

Ресурсы BRANDSEO [21], “Груша” [16], F-Persona [12], Seo-Репутация [8], IPiaR [9] используют 4 из 7 заданных способов удаления. Ресурсы ISN [18], Zenlink [11], РепутаЦЦи [7], EpicCenter [6], Вебластик [2] в своей работе используют 3 из 7 заданных способов удаления. Другие ресурсы: Exiterra [19], ReputationExpert [17], SERMPRO [15], EZ-DDOS.COM [13], Webcleaner [10], Судебные юристы [3], Removephoto [4] используют 2 и менее заданных способов удаления нежелательной информации из 7. На их фоне выделяется EZ-DDOS.COM [13], т.к. это единственный ресурс, который использует нелегальные методы удаления информации.

Список литературы

1. *Марков А.А.* Связи с общественностью в защите имиджа от негативной информации СМИ. В аспекте информационной безопасности личности и организации //Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, 2009.

2. «Вебластик». Режим доступа: <https://weberaser.ru/>. Дата обращения [2.05.17].

3. «Судебные юристы». Режим доступа: <http://www.судебные-юристы.рф/>. Дата обращения [2.05.17].

4. «Removephoto». Режим доступа: <http://removephoto.com/>. Дата обращения [2.05.17].

*МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ)*

5. «Репутация.Москва». Режим доступа: <http://reputation.moscow/udalenie-negativa-iz-interneta/>. Дата обращения [2.05.17].

6. «EpicCenter». Режим доступа: <http://epiccenter.ru/blog/udalenie-negativnoj-informacii-v-internete/>. Дата обращения [2.05.17].

7. «РепутаЦЦи». Режим доступа: <http://reputazzi.com/category/delete/>. Дата обращения [2.05.17].

8. «Seo-Репутация». Режим доступа: <https://www.seo-reputation.ru/>. Дата обращения [3.05.17].

9. «IPiAR». Режим доступа: <https://ipiar.ru/>. Дата обращения [3.05.17].

10. «Webcleaner». Режим доступа: <https://webcleaner.biz/>. Дата обращения [2.05.17].

11. «Zenlink». Режим доступа: <https://zenlink.ru/udalenieotzivov/>. Дата обращения [3.05.17].

12. «F-Persona». Режим доступа: <https://fpersona.com/>. Дата обращения [3.05.17].

13. «EZ-DDOS.COM». Режим доступа: <https://www.ez-ddos.com/>. Дата обращения [3.05.17].

14. «Digital Sharks». Режим доступа: <https://digitalsharks.ru/>. Дата обращения [3.05.17].

15. «SERMPRO». Режим доступа: <http://www.sermpro.com/>. Дата обращения [2.05.17].

16. «“Груша”». Режим доступа: <http://xn----бкскбосе7cusukh9е.xn--p1ai/>. Дата обращения [2.05.17].

17. «ReputationExpert». Режим доступа: <http://reputationexpert.ru/>. Дата обращения [3.05.17].

18. «ISN». Режим доступа: <http://iseenothing.ru/>. Дата обращения [3.05.17].

19. «Exiterra». Режим доступа: <http://exiterra.com/>. Дата обращения [32.05.17].

20. «VASTUTNET». Режим доступа: <http://vastutnet.ru/>. Дата обращения [3.05.17].

21. «BRANDSEO». Режим доступа: <http://serm.brand-seo.ru/>. Дата обращения [3.05.17].

**SOFTWARE APPLICATION FOR REMOVING UNWANTED
INFORMATION ON THE INTERNET**

Panushkin G.

Supervisor: M. Tumbinskaya

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The report is devoted to the removal of unwanted information on the Internet. Offered a classification of undesirable information on the Internet, an analysis of web-resources allowing to remove undesirable information on the Internet, described methods for removing unwanted information on the Internet.

УДК 004.942

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ НА БАЗЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТ- ФОРМЫ DEDUCTOR

Степанов Г.И.

Научный руководитель: А.С. Катасёв, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Данная работа посвящена анализу методов оценки кредитоспособности физических лиц на базе аналитической платформы Deductor. Для анализа методов оценки кредитоспособности физических лиц были выбраны три основных метода: нейросеть, дерево решений и логистическая регрессия. Оценка методов была проведена экспериментальным путем.

Основная деятельность банков заключается в операциях связанных с кредитованием лиц. Данная деятельность предоставляет банкам практически половину их заработка, тем не менее она непрерывно связана с различными рисками. Кредитные риски тесно связаны с возможной недееспособностью заемщика, и данный риск наиболее значительный для любого банка. Таким образом для анализа кредитоспособности физических лиц требуется алгоритм, который сможет работать как с количественной, так и с качественной оценкой кредитоспособности, не имея сильной зависимости от точности выборки набора данных.

Данная работа посвящена анализу методов оценки кредитоспособности физических лиц на базе аналитической платформы Deductor. Было произведено сравнение трех моделей оценки кредитоспособности: нейросеть, дерево решений и логистическая регрессия; а также произведен анализ их эффективности.

Несмотря на различия выбранных алгоритмов, можно выделить общую структуру анализа кредитоспособности:

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*



Рис. 1. Общий процесс анализа кредитоспособности

На первом этапе производится комплексная оценка заемщика. На втором этапе оценки производится качественная и количественная оценка текущего состояния, а также производится прогнозирование состояния заемщика. Для оценки используются данные о кредитной истории, социальная оценка заемщика, обеспеченность заемщика, влияние внешних условий на состояние заемщика.

Задача нелинейного оценивания, заключающаяся в аппроксимации зависимости между входной и бинарной выходной переменными. В случае если входная и выходная переменные непрерывны применяется линейная регрессия.

Решение данной задачи позволяет линеаризировать задачу нелинейного оценивания и сводит ее к оптимизации параметров модели, так же преобразование называется логит-преобразованием.

Недостатками данной модели являются низкая устойчивость к ошибкам, зависимость от набора данных.

Нейронные сети представляют собой самообучающиеся модели, имитирующие деятельность человеческого мозга. Они способны не только выполнять однажды запрограммированную последовательность действий над заранее определенными данными, но и сами анализировать вновь поступающую информацию.

Основным достоинством нейронных сетей является возможность эффективно строить нелинейные зависимости, более точно описывающие наборы данных по сравнению с линейными методами статистики.

Деревья решений – популярный алгоритм классификации, в котором решающие правила извлекаются непосредственно из исходных данных в процессе обучения. Они представляют собой иерархическую последовательность правил вида "Если...то...".

Для принятия решения, к какому классу следует отнести некоторый объект или ситуацию, требуется ответить на вопросы, стоящие в узлах этого дерева, начиная с его корня. Вопросы имеют вид, например, "значение параметра А больше В?". Если ответ положительный, осуществляется переход к правому узлу следующего уровня. Затем снова идет вопрос, связанный с соответствующим узлом и т. д.

Для интерпретации результатов классификации с помощью дерева решений используются визуализаторы, показывающие структуру дерева, а также сформулированные в нем правила.

Для проведения анализа была создана выборка, содержащая более тысячи строк для обучения.

Для проведения анализа необходима модель на основе которой будет проводиться сравнение. В качестве оценочной модели была разработана модель "Выдать всем". Принцип модели заключается в положительном заключении о кредитоспособности независимо от любых факторов.

Основываясь на данной модели можно рассчитать количество ошибок первого и второго рода, а также рассчитать эффективность и количество ошибок первого и второго рода для дерева решений, нейросети и логистической регрессии.

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

Давать кредит	Давать кредит(число)	выдать всем
Да	1	1
Нет	0	1
Да	1	1
Нет	0	1
Да	1	1
Да	1	1

Рис. 2. Модель “Выдать всем”

Анализ методов оценки кредитоспособности

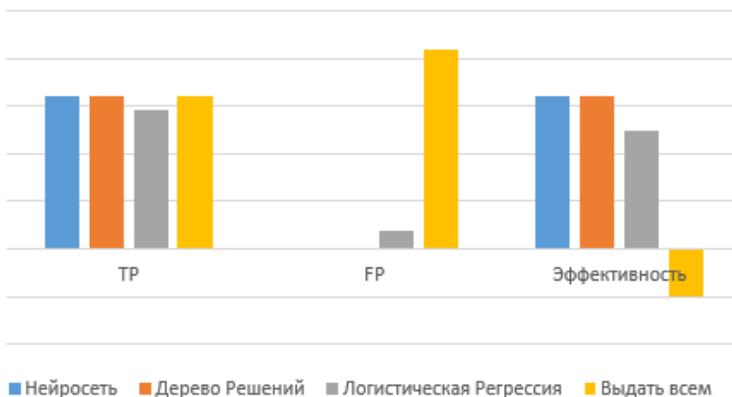


Рис. 3. Гистограмма анализа

Данная диаграмма показывает количество верно распознанных заемщиков (TP), количество заемщиков которым был ошибочно выдан кредит и эффективность каждого из методов.

Как видно из диаграммы наименьшую эффективность имеют “выдать всем” и логистическая регрессия, а наивысшую эффективность нейросеть и дерево решений. Низкая эффективность логистической регрессии обуславливается наличием лишних данных в выборке, при наличии более качественной выборке не содержащей лишних данных будет минимизироваться ошибка в следствии чего будет повышаться эффективность логистической регрессии.

Данная статья посвящена анализу методов оценки кредитоспособности физических лиц на базе аналитической платформы Deductor. Результаты анализа показали, что наивысшую эффективность имеют дерево решений и нейросеть. Их эффективность обуславливается неприхотливости алгоритмов к выборке и наличию ошибок.

Список литературы

1. *В.И. Глова, И.В. Аникин, А.С. Катасёв, М.А. Кривилёв, Р.И. Насыров.* Мягкие вычисления: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. – 206 с.
2. *Рудаков К.В.* Об алгебраической теории универсальных и локальных ограничений для задач классификации // Распознавание, классификация, прогноз. Математические методы и их применение. Вып. 1. - М.: Наука, 2007. - С. 176-200.
3. *Philip Dawid, Steffen L. Lauritzen, David J. Spiegelhalter* Probabilistic Networks and Expert Systems: Exact Computational Methods for Bayesian Networks; Springer Science, 2007 P. 31-36.
4. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. – 270 с.
5. *Hecht-Nielsen R.* Kolmogorov's mapping neural network existence theorem // IEEE First Annual International Conference on Neural Networks. San Diego. 1987. Vol. 3. P. 11-13.
6. *Катасёва Д.В., Катасёв А.С., Курпичников А.П., Абьянов Б.Э.* Нейронечеткая модель анализа и прогнозирования временных рядов // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 13. С. 127-131.
7. *Паклин Н.Б., Орешиков В.И.* Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. – СПб.: Питер, 2009. – 624 с.

ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE CREDITWORTHINESS OF INDIVIDUALS BASED ON THE ANALYTICAL PLATFORM DEDUCTOR

Stepanov G.

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

Supervisor: A. Katasev, PhD, Associate Professor
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

The given work is devoted to the analysis of methods of an estimation of credit status of physical persons on the basis of analytical platform Deductor. To analyze the methods for assessing the creditworthiness of individuals, three main methods were chosen: the neural network, decision tree and logistic regression. The evaluation of the methods was carried out experimentally.

УДК 004.942

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ СИМВОЛОВ В СИСТЕМАХ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ

Сулейманов М.А.

Научный руководитель: А.С. Катасёв, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Данная работа посвящена разработке технологии построения отказоустойчивых нейросетевых моделей распознавания рукописных символов в системах биометрической аутентификации. Разрабатываемая технология основана на построении нейронных сетей. Для построения нейронных сетей использовалась аналитическая платформа Deductor Studio.

Проблема надежного распознавания в системах биометрической аутентификации особенно актуальна в современном мире, сегодня крупные компании инвестируют в эту область большие средства. Системы биометрической аутентификации применяются в сферах, где информационная безопасность имеет критическое значение, например, в государственных учреждениях, банках и так далее. Использование биометрического контроля доступа может использоваться в многофакторных системах аутентификации пользователя, главная цель – повышение надежности верификации пользователя.

Цель данного исследования – повышение эффективности использования нейросетевых моделей для распознавания рукописных символов в системах биометрической аутентификации. Самым перспективным на данный момент методом аутентификации является биометрический метод. Нейросетевые методы - это методы, базирующиеся на применении различных типов нейронных сетей.

Для систем биометрической аутентификации на основе распознавания рукописных символов наиболее важной характеристикой является отказоустойчивость, точность распознавания, которая

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

позволит минимизировать ошибки первого и второго рода. Таким образом, для реализации задачи повышения отказоустойчивости необходимо провести правильное обучение нейронной сети и ее точную настройку. Состав обучающей выборки влияет на качество получившейся системы распознавания больше, чем все остальные факторы. Чем точнее выборка аппроксимирует совокупность символов, которые будут поступать на вход модели, тем выше будет качество результата.

Рассмотрим метод подготовки выборки для создания нейросетевой модели распознавания рукописных символов:

В качестве распознаваемых символов выбраны арабские цифры от 0 до 9,

на первом этапе запишем цифры 0-9 в виде бинарной матрицы, размерностью 16x16. (Рис.1)

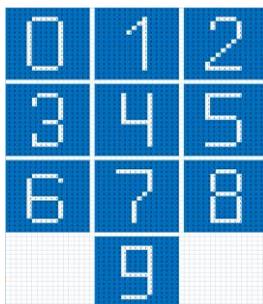


Рис. 1. Цифры записанные в виде бинарной матрицы

Далее необходимо подготовить обучающую выборку, имеющую 256 входов и 10 выходов. Аугментация (augmentation, “раздутие”) данных для обучения нейронной сети имеет несколько подходов, например создание обучающих примеров из искусственных символов. Можно взять несколько шаблонов / «идеальных» примеров (например, наборов шрифтов) и с помощью различных искажений создать необходимое число примеров для обучения. Можно использовать следующие искажения:

- Сдвиги
- Повороты

- Дополнительные линии на изображениях
- Блики
- Размытие
- Сжатия и растяжения вдоль осей

Самый большой прирост правильных распознаваний приносит искажение путем поворота, увеличения, уменьшения символов. Таким образом, необходимо создать еще два обучающих набора (Рис. 2)

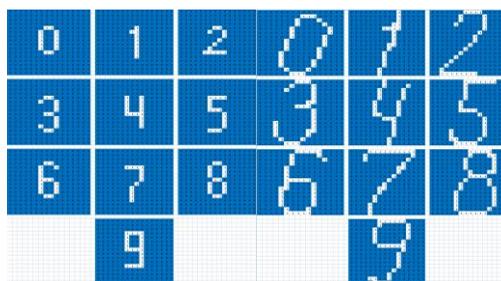


Рис. 2. Искаженные обучающие наборы

Объединив обучающие наборы получим исходную аугментированную обучающую выборку, эффективность которой проверим экспериментально. Добавим к исходной выборке тестовый набор, состоящий из искаженных и зашумленных образов, отсутствующих в предыдущих трех наборах. Обучим нейронную сеть на исходном, неискаженном обучающем наборе. Затем обучим вторую нейросеть на аугментированном обучающем наборе. Нейросетевые модели, построенные на исходной и аугментированной выборках соответственно, успешно обучились. Ошибки на обучающих множествах отсутствуют у обеих моделей.

Процесс построения модели не ограничивается ее обучением. Прежде чем использовать модель на практике, необходимо оценить ее эффективность и способность к работе с новыми данными. Эффективный способ формирования множеств в условиях недостаточности данных называется перекрестная проверка или кросс-валидация. Для определения ошибки модели (отношения числа неверно классифицированных объектов к общему числу объектов

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

тестового множества данных) делаем трехблочную перекрестную проверку. Данные случайным образом делим на 3 блока. Затем обучаем модель на 2/3 данных и тестируем на оставшейся 1/3 части. Полученные 3 значения усредняем, и результат рассматриваем как общую ошибку модели (таблица 1).

Таблица 1

Результаты оценки ошибки исходной нейросети

№ п/п	1 этап проверки	2 этап проверки	3 этап проверки	Средняя ошибка
1	0,36	0,06	0,1	0,173
2	0,25	0,01	0,09	0,113
3	0,06	0,11	0,02	0,176

Итоговое значение ошибки модели: 0,462

Далее проведем оценку ошибки модели, обученной на аугментированной выборке (таблица 2).

Таблица 2

Результаты оценки ошибки аугментированной модели

№ п/п	1 этап проверки	2 этап проверки	3 этап проверки	Средняя ошибка
1	0,23	0,07	0,23	0,176
2	0,15	0	0,07	0,073
3	0	0,07	0,07	0,046

Итоговое значение ошибки модели: 0,098

Список литературы

1. *Hecht-Nielsen R.* Kolmogorov's mapping neural network existence theorem // IEEE First Annual International Conference on Neural Networks. San Diego. 1987. Vol. 3. P. 11-13.
2. *Зинин А.М.* Биометрические системы и идентификация человека // Lex Russica. – 2012. – Т. LXXI. – № 5. – С. 1064-1070.

3. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. – 270 с.
4. *Катасёв, А.С.* Мягкие вычисления: учебное пособие / А.С. Катасёв, И.В. Аникин, В.И. Глова, М.А. Кривилёв, Р.И. Насыров. – Казань: Казанский государственный технический университет, 2010. – 206 с.
5. *Катасёва Д.В., Катасёв А.С., Куртичников А.П., Абьянов Б.Э.* Нейронечеткая модель анализа и прогнозирования временных рядов // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 13. С. 127-131.
6. *Паклин Н.Б., Орешков В.И.* Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. – СПб.: Питер, 2009. – 624 с.: ил.
7. *Солошенко А.Е., Витовтова О.В., Жилинкова Л.А.* Обзор статических методов биометрической идентификации личности // Российская наука и образование сегодня: проблемы и перспективы. – 2014. – № 3 (2). – С. 78-80.
8. *Горлов Д.В.* Распознавание изображений на основе признаков, инвариантных к сдвигу, вращению, масштабированию: Автореф. дис. канд. техн. наук: – Красноярск, 2002. – 20 с.
9. *Абрамов Е.С.* Моделирование систем распознавания изображений (На примере печатных текстов) : Дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01 СПб., 2006 – 140 с.
10. *Телков А.Ю.* Экспертные системы: Учебное пособие. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 77-48211/478895, № 09 сентябрь 2012 г 25 2007. – 83 с.

NEURAL NETWORK TECHNOLOGY OF HANDWRITING SYMBOLS RECOGNITION IN SYSTEMS OF BIOMETRIC AUTHENTICATION

Suleymanov M.

Supervisor: A. Katasev, PhD, Associate Professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

This work is dedicated to the development of technology for building fault-tolerant neural network pattern recognition of handwritten characters in biometric authentication systems. The developed technology is based on the construction of neural networks. For the construction of neural networks used analytical Deductor Studio platform.

УДК 004

МЕТОДЫ УДАЛЕНИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

Яковлев Е.А.

Научный руководитель: М.В. Тумбинская
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе рассматриваются методы удаления нежелательной информации в сети интернет, предложена классификация нежелательной информации в сети Интернет, предложена классификация алгоритмов удаления нежелательной информации в сети интернет.

Интернет – это бескрайние информационные просторы, которыми ежедневно пользуются люди со всего земного шара, чтобы получить необходимую им информацию [1]. Но не вся информация в сети интернет является полезной, так как существует информация, которая препятствует комфортному получению желаемой информации. Такую информацию принято называть – нежелательной [2].

Повышение эффективности удаления нежелательной информации в сети интернет является актуальной задачей защиты информации.

За основу исследования решено было взять информационный контент веб-ресурсов сети интернет, информационные ресурсы интернет-источников, а также периодические издания и литературу по обеспечению информационной безопасности [3],[4]. Были проанализированы веб-ресурсы профильно-ориентированные на удаление нежелательной информации в сети интернет.

На основе анализа веб-ресурсов профильно-ориентированных на удаление нежелательной информации в сети интернет предложена классификация алгоритмов удаления нежелательной информации, представленная на Рис.2.

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

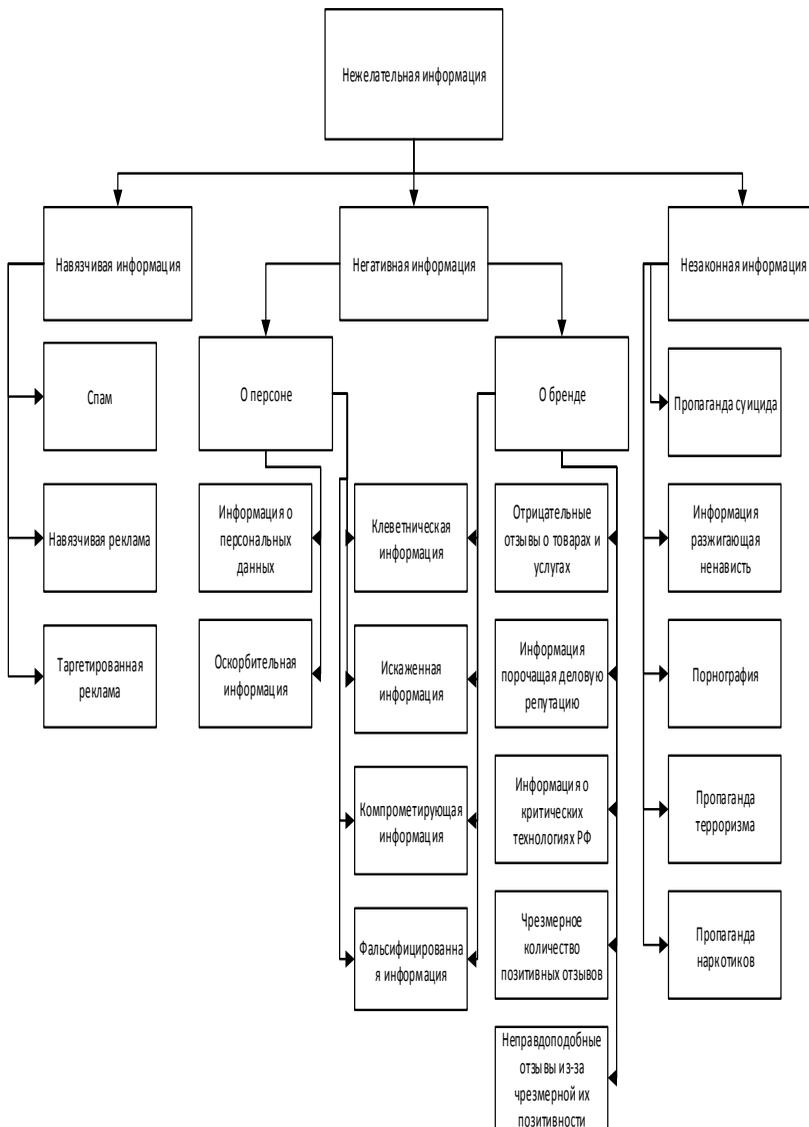


Рис. 1. Классификация нежелательной информации в сети интернет



Рис. 2. Классификация алгоритмов удаления нежелательной информации

1. В первую очередь это классификация по признаку правомерности: *легитимные* алгоритмы удаления нежелательной информации в сети интернет или же *нелегитимные*.

2. Второй классификацией является распределение по способу реализации: *организационные* алгоритмы удаления нежелательной информации в сети интернет, *программные* или же *технические*.

Вывод

Удаления нежелательной информации в сети интернет на данный момент является малоизученной областью, поэтому работа, посвященная структуризации и классификации доступных данных и разработка обобщенной методики удаления такого рода информации может положить начало ее дальнейшего развития, как области научной деятельности. Безусловно, увеличение количества научных разработок в данной сфере поспособствует повышению

*ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

эффективности удаления нежелательной информации в сети интернет и, как следствие, повышению качества использования сети интернет в целом.

Список литературы

1. *Соколов А. В., Степанюк О. М.* Защита от компьютерного терроризма. Справочное пособие. // БХВ - Петербург, Арлит, 2002. С. 340-345.
2. *Бирюков, А.А.* Информационная безопасность: защита и нападение // ДМК Пресс, 2013. С. 230-274.
3. *Лепехин А.Н.* Расследование преступлений против информационной безопасности. Теоретико-правовые и прикладные аспекты. //Тесей, 2008. С.120-155
4. *Марков А.А.* Связи с общественностью в защите имиджа от негативной информации СМИ. В аспекте информационной безопасности личности и организации //Российский государственный гидрометеорологический университет, 2009. С.55-100.

**METHODS OF REMOVING AN UNWANTED
INFORMA-TION IN THE INTERNET NETWORK**

Yakovlev E.

Supervisor: M. Tumbinskaya

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The report is devoted to methods of removing unwanted information on the Internet. In the course of the work, resources were analyzed that deal with the removal of unwanted information on the Internet; The classification of undesirable information has been developed algorithms for removing unwanted information in the Internet have been compiled in a generalized form. Based on the compiled algorithms a technique for removing unwanted information in the Internet was developed.

ПОДСЕКЦИЯ 5.5

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 66.081.6:544.272

МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ БИНАРНОЙ ЛЕННАРД-ДЖОНСОВСКОЙ СМЕСИ

Анашкина А.В., Анашкин И.П.

Научный руководитель: А.В. Клинов д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технологический
университет, г. Казань)

Молекулярно-статистическими методами изучен процесс массопередачи через мембрану. Межмолекулярное взаимодействие разделяемых компонентов и атомов мембраны описывалось потенциалом Леннарда-Джонса. Определены потоки компонентов, селективность и распределение плотности компонентов по толщине мембраны.

Предсказание разделительной способности мембран является важной задачей, решение которой позволит повысить энергоэффективность процессов разделения. Так, в настоящее время, при разработке материалов мембраны необходимо проведение эксперимента для определения основных характеристик мембраны: селективности и потока компонентов. В данной работе применяются молекулярно-статистические методы для моделирования процесса мембранного разделения. Данные методы позволяют без проведения эксперимента, основываясь лишь на структуре молекул и межмолекулярном взаимодействии, рассчитывать разделительные характеристики мембран [1].

В данной работе исследовано разделение модельной бинарной смеси, межмолекулярное взаимодействие в которых описывалось потенциалом Леннарда-Джонса. Межмолекулярное взаимодействие молекул разделяемой смеси между собой и друг с другом не отличалось (значения параметров потенциала Леннарда-Джонса равны $\epsilon_{11} = \epsilon_{12} = \epsilon_{22}$ и $\sigma_{11} = \sigma_{12} = \sigma_{22}$), однако к мембране один из компонентов притягивался в два раза сильнее ($\epsilon_{1M} = 2\epsilon_{2M}$). Мембрана представляла из себя леннарда-джонсовские центры взаимодействия, жестко закрепленные в узлах кубической кристаллической решетки. Расстояние между узлами кристаллической решетки равнялось 2σ .

Для расчета характеристик мембраны использовалось два подхода. Первый подход основан на определении характеристик напрямую из моделирования. Второй подход основан на использовании макромоделей для описания переноса. В связи с этим использовалось несколько методов моделирования с использованием программ GROMACS и towhee. Для моделирования процесса разделения использовался модифицированный метод двух контрольных объемов [2]. Согласно данному методу моделируемая система разбивается на несколько областей, в которых поддерживается постоянство плотности и состава смеси. В данной работе со стороны жидкости поддерживалась плотность $n^* = n\sigma^3 = 0.8$, с другой стороны мембраны поддерживался вакуум (все молекулы из контрольного объема удалялись). В системе поддерживалась постоянная температура $T^* = k_B T / \epsilon = 1$. Таким образом, данное моделирование соответствует процессу первапорации, когда разделяемая исходная смесь жидкая, а пермеат проходя через мембрану удаляется в виде паров под вакуумом.

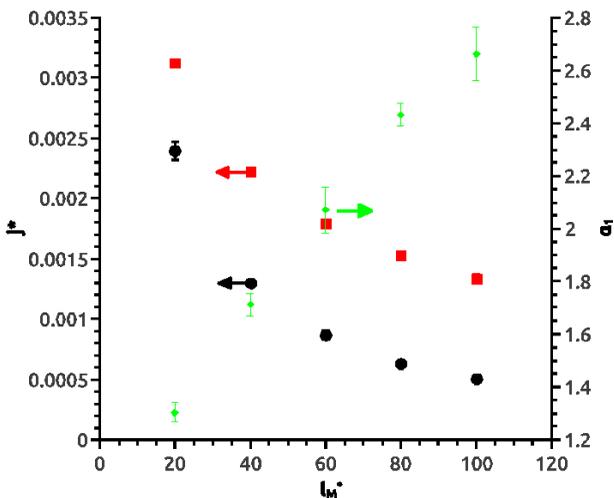


Рис. 1. Поток и селективность в зависимости от толщины мембраны, квадраты – поток компонента 1, круги – поток компонента 2, ромбы – селективность по компоненту 1

Поток компонентов определялся по изменению количества мо-

ПОДСЕКЦИЯ 5.5. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ,
КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

лекул компонента в каждой из выделенных зон по времени. После установления стационарности поток и распределение плотности каждого компонента усреднялись по времени.

В работе были исследовано влияние толщины мембраны и концентрации компонентов в исходной смеси. На рисунке 1 представлены значения потоков и селективность по компоненту 1 (сильнее притягиваемому к мембране). Видно, что мембрана селективна по отношению к данному компоненту. Расчет коэффициентов диффузии показал, что значение коэффициента диффузии меньше по сравнению с компонентом 2. Таким образом, селективность обусловлена лишь адсорбционной способностью мембраны. Это также подтверждается распределением концентрации вдоль моделируемой ячейки (рисунок 2).

Второй используемый подход основан на использовании макромоделей для описания транспорта через мембрану. Согласно данному подходу выделяется 3 зоны: область жидкой, газовой фаз и мембраны. В каждой из этих зон используется описание потока через коэффициент диффузии и градиент химического потенциала. Решение в каждой из зон связываются изотермой адсорбции, таким образом можно получить замкнутую задачу.

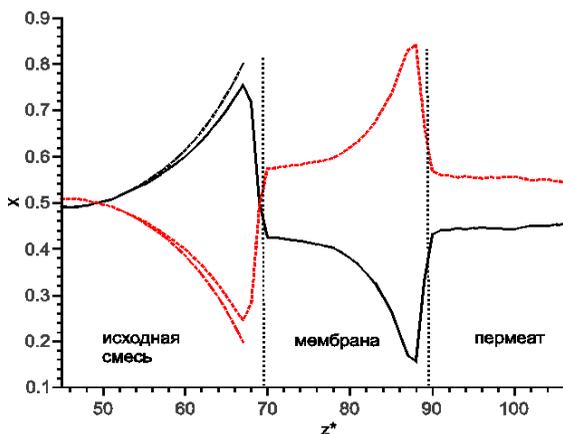


Рис. 2. Распределение концентрации компонентов вдоль моделируемой ячейки, пунктирная линия – компонент 1, сплошная линия – компонент 2, штрихпунктирная линия – расчет по макромоделю

В области жидкой фазы, с учетом принятого межмолекулярного взаимодействия, раствор ведет себя как идеальная смесь. Таким образом, градиент химического потенциала можно заменить градиентом концентрации. Для расчета распределения плотности компонентов в мембране была рассчитана зависимость коэффициента диффузии и химического потенциала компонентов в мембране от суммарной плотности и состава смеси. Для проверки работоспособности макромоделей в данной работе была решена обратная задача: проведено сравнение с экспериментом распределения концентрации, полученной из решения дифференциальных уравнений. Так, для области жидкой фазы с учетом принятых допущений, распределение концентраций описывается вы-

ражением: $x_i(z) = x_i^P + (x_i^F + x_i^P) \exp\left(\frac{j_{tot} z}{Dn_{tot}}\right)$ где x^P , x^F – концентра-

ция в пермеате и исходном растворе, j_{tot} – суммарный поток компонентов, n_{tot} – суммарная плотность компонентов, значение коэффициента диффузии D было взято из статьи [3]. Данное распределение представлено на рисунке 2 штрихпунктирной линией. Видно хорошее согласование численного моделирования и результатов полученных по макромодели.

Таким образом, было показано, что даже на масштабах порядка нескольких десятков молекул применимы математические макромодели. Существует несколько вариантов молекулярного моделирования процессов мембранного разделения: прямое моделирование с использованием метода двух контрольных объемов или моделирование равновесных свойств (коэффициента диффузии и химического потенциала) в жидкой фазе и мембране с последующей подстановкой в дифференциальные уравнения транспорта через мембрану.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-03-01133 А

Список литературы

1. Анашкин И.П. Массоперенос через мембрану из гибридного оксида кремния в процессах первапорационного разделения жидких смесей: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Казань: КНИТУ, 2014.
2. Helffinger G.S., Swol F. van. Diffusion in Lennard-Jones fluids

using dual control volume grand canonical molecular dynamics simulation (DCV-GCMD) // J. Chem. Phys. 1994. Vol. 100, № 10. P. 7548.

3. *Meier K., Laesecke A., Kabelac S.* Transport coefficients of the Lennard-Jones model fluid. II Self-diffusion // J. Chem. Phys. 2004. Vol. 121, № 19. P. 9526.

MOLECULAR SIMULATION OF MEMBRANE SEPARATION OF A BINARY LENNARD-JONES MIXTURE

Anashkina A., Anashkin I.

Supervisor: A. Klinov, Sci Dr, professor

(Kazan National Research Technological University, Kazan)

Mass transfer through the membrane were studied by molecular-statistical simulation. The intermolecular interaction of the separated components and membrane atoms was described by the Lennard-Jones potential. Flows, selectivity and density distribution of components along the membrane thickness were calculated.

УДК 004.942

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАНОНИЧЕСКИМ
МЕТОДОМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ**

Германюк Д.Е., Германюк Г.Ю.

*(Ижевский государственный технический университет
имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск)*

Разработан программный комплекс для исследования многочастичных динамических систем. В основу расчётного алгоритма программного комплекса положен канонический метод численного интегрирования динамических уравнений. Исследованы способы повышения производительности численного интегрирования динамических систем.

В работах [1 - 3] был рассмотрен программный комплекс для исследования одномерного ансамбля Гиббса в условиях попарного межчастичного взаимодействия. В основу программного комплекса положен канонический метод численного интегрирования динамических уравнений, повышающий достоверность получаемых результатов.

Дальнейшее совершенствование программного комплекса позволило:

1. Разработать компьютерную модель, реализующую метод консервативных возмущений для исследования динамики многомерных и многочастичных систем.

2. Разработать схему параллельных вычислений с использованием явных канонических алгоритмов интегрирования, значительно повышающая скорость вычислений. Разделение процесса счёта и процесса отображения обеспечило увеличение производительности численного счёта и качество визуализации результатов эксперимента.

3. Использование современных графических библиотек позволяет повысить эргономичность и наглядность эксперимента.

*ПОДСЕКЦИЯ 5.5. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ,
КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ*

Логическая схема моделирования, устанавливающая связь между исследуемым объектом (молекулярной системой) и компьютерной моделью, воспроизводимой на экране компьютера, с последующим анализом результатов и их исследованием представлена на рисунке 1.

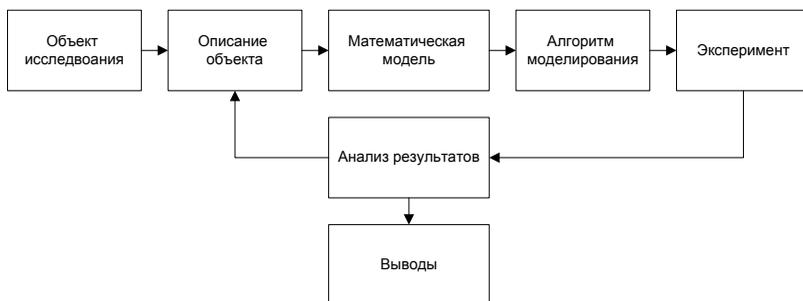


Рис. 1. Схема компьютерного эксперимента

Физической моделью является N -мерная система нанообъектов в условиях потенциального воздействия (поле или попарное взаимодействие) [4-6].

Математической моделью указанной системы будет так называемый канонический ансамбль Гиббса [7], рассмотренный в работе [1].

Анализ результатов компьютерной модели заключается в качественной и количественной оценке параметров и сравнения их с экспериментальными данными и результатами исследований других авторов.

Разработанный ранее программный комплекс моделирования динамики частиц [3] имел существенный недостаток в производительности алгоритма расчёта межчастичных взаимодействий. В представленном программном комплексе данный недостаток частично устранён [8, 9].

Рассмотрим сложность алгоритма при расчёте одного шага интегрирования на примере системы из $N = 100$ частиц. Общий вид потенциала представлен формулой:

$$U(n_i) = \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^N F(n_i, n_j)$$

Количество вычислений при этом будет равно $K = N(N - 1)$, при больших N можно записать как $K = N^2$. Особенность рассматриваемого потенциала взаимодействия заключается в том, что потенциальное поле, возникающее между двумя частицами, действует с равной по модулю силой на обе частицы, т.е.

$$U(n_{ij}) = -U(n_{ji})$$

Такая особенность межчастичных потенциалов позволяет провести ряд действий по уменьшению количества вычислений и, как следствие, уменьшению сложности алгоритма в 2 раза, но увеличению требуемой оперативной памяти, т.к. в процессе интегрирования необходимо хранить заранее рассчитанные значения потенциальной энергии. Однако современные вычислительные машины предоставляют достаточно большие объёмы памяти, которые можно использовать для таких вычислений.

Использование явных алгоритмов интегрирования позволяет применить методы распараллеливания для увеличения быстродействия счёта. В разработанном программном комплексе использована конвейерная технология обработки данных. С её помощью можно равномерно распределить нагрузку на все логические процессоры ЭВМ, тем самым увеличив скорость расчёта.

Особенностью рассматриваемых итерационных схем является необходимость синхронизации на каждом шаге интегрирования, т.к. для расчёта состояния каждой частицы требуется информация о состояниях других частиц системы на данном шаге. Для решения проблемы синхронизации использованы два хранилища состояний системы. В первом (основном) хранилище содержатся данные о частицах системы на текущем шаге интегрирования, во втором хранилище собираются результаты текущей итерации. На каждом шаге конвейеры используют данные только из основного хранилища для расчёта, результаты которых помещают в хранилище новых результатов.

*ПОДСЕКЦИЯ 5.5. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ,
КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ*

После того, как все частицы на текущем шаге будут обработаны конвейерами, содержимое хранилища новых результатов помещается в основное хранилище методом замещения, а само хранилище новых результатов очищается. На рисунке 2 представлена схема конвейерной обработки данных с учётом особенностей использованных алгоритмов счёта.



Рис. 2. Схема конвейерной обработки данных

Использование конвейерной технологии в проведении расчёта канонических схем интегрирования и уменьшение количества операций на каждом шаге увеличивает производительность счёта в 16 раз на 4-ядерном процессоре по сравнению с однопоточным подходом.

Разработанный программный комплекс [8] был протестирован на модели из $N = 3000$ частиц и дал результаты, качественно описывающие процессы в линейных и нелинейных системах. Представленный программный комплекс представляет собой удобный, многофункциональный и эргономичный инструмент для исследования многочастичных динамических систем. Он может применяться не только в научных целях, но и как методическое обеспечение для курсов физики (механика, термодинамика, физика наночастиц) и для спецкурса «Компьютерное моделирование физических процессов».

Список литературы

1. *Германюк Г.Ю., Германюк Д.Е.* Программный комплекс для исследования динамики одномерных ансамблей Гиббса. // Интеллектуальные системы в производстве. ИжГТУ. 2010/1. Ижевск 2010. – С.29-36
2. *Германюк Г.Ю.* Программный комплекс для исследования динамики ансамбля частиц. / Информационные системы и модели в научных исследованиях, промышленности, образования и экологии: Сборник тезисов Всероссийской научно-технической конференции. Тула, 2010. – С.15-17.
3. *Германюк Д.Е., Германюк Г.Ю.* Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ №2010611691 «Программный комплекс моделирования движения ансамбля», зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 3 марта 2010г.
4. *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1979. – 552 с.
5. *И.С. Березин, Н.П. Жидков.* Методы вычислений. Физматгиз, 1959, ч. II, гл. IX.
6. *Заславский Г.М., Сагдеев Р.З.* Введение в нелинейную физику: От маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988
7. *Арнольд В.И.* Математические методы классической механики. – М.: Наука, 1974. – 432 с.
8. *Германюк Д.Е.* Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ №2013614694 «Программный комплекс моделирования динамики высокотемпературной плазмы», зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20 мая 2013г.
9. *Германюк Д.Е.* Диссертация «Разработка информационно-аналитической системы для исследования нанобъектов». Диссертационный совет Д 212.065.06 при ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», 2013 г.

**INCREASING THE PERFORMANCE OF COMPUTER MODEL
FOR RESEARCHING DYNAMIC SYSTEMS
WITH THE CANONICAL METHOD OF INTEGRATION**

Germanyuk D, Germanyuk G.

(Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk)

A software package was developed for the study of multiparticle dynamical systems. The algorithm of the software package is based on canonical method of numerical integration of dynamic equations. The ways of increasing the productivity of numerical integration of dynamic systems are investigated.

УДК 004.27

АППАРАТНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ШОРА В АРХИТЕКТУРЕ ПЛИС/FPGA

Гришанов С.А.

Научный руководитель: С.В. Шалагин, д.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

При использовании САПР реализован аппаратный модуль в архитектуре ПЛИС/FPGA. На основе однотипных модулей указанного типа возможно создание специализированного устройства для выполнения алгоритма факторизации Шора. Устройство реализуемо на распределенной вычислительной системе с программируемой архитектурой, включающих в свой состав ПЛИС/FPGA, как существующие, так и перспективные.

В настоящее время задача факторизации чисел является актуальной для различных приложений, связанных с кодированием-декодированием информации [1, 2]. Увеличение разрядности факторизируемого числа является средством обеспечения информационной безопасности для широкого класса приложений. В данной связи актуальной является задача выявления зависимости скорости разложения двоичного числа на множители в зависимости от его разрядности с применением специализированных ЭВМ. В частности, распределенных вычислительных систем с программируемой архитектурой (РВС ПА), элементами которых являются программируемые логические интегральные схемы класса FPGA (ПЛИС/FPGA) [3].

В работе определен подход к реализации алгоритма факторизации, предложенного П.Шором для квантовых компьютеров [4], на РВС ПА, в архитектуре ПЛИС/FPGA, при использовании однотипных IP-ядер [5], реализующих классические вычисления. Указанный подход, в частности, применим и для реализации широкого класса цифровых устройств на РВС ПА [6 - 8]

Алгоритм Шора (далее – Алгоритм) основан на предложе-

*ПОДСЕКЦИЯ 5.5. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ,
КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ*

нии, что для некоторого числа N , $N \bmod 2 = 1$, существует число a : $(t^a - 1) \bmod N = 0$, т. е. выполняется условие:

$$t^a \bmod N = 1; \quad (1)$$

где t – ненулевой и не единичный элемент: $\text{НОД}(t, N) = 1$. Примем $t = 2$ и обозначим $b = 2^a \bmod N$. Требуется найти множители числа N или показать, что N – простое. В случае выполнения равенства (1), множители N , m_1 и m_2 , определяются как: $m_1 = \text{НОД}(f - 1, N)$, $m_2 = \text{НОД}(f + 1, N)$, где $f = 2^d \bmod N = 1$, $d = a/2$, если $a \bmod 2 = 0$. Алгоритм включает в себя следующие этапы.

На этапе инициализации $a = (n - 1)$, $b = 2^{(n-1)}$, $d = \lfloor (n-1)/2 \rfloor$, $f = 2^d$.

Этап 1. Вычисление значения $b = \begin{cases} 2b: & 2b < N \\ 2b - N: & \text{иначе} \end{cases}$.

Этап 2. $a = a + 1$.

Этап 3. Если $a \bmod 2 = 0$, то вычисление $f = \begin{cases} 2f: & 2f < N \\ 2f - N: & \text{иначе} \end{cases}$ и

$d = d + 1$.

Этап 4. Если $b = 1$, то проверяем условие;

Если $a \bmod 2 = 0$, то выдать d и f ;

иначе – выдать a и сообщение об ошибке;

иначе – переход к этапу 1.

Для реализации Алгоритма требуется: инкрементных двоичный счетчик для подсчета значений a и d ; n -разрядный регистр для хранения значения N ; два n -разрядных регистра для хранения значений b и f ; два устройства вычитания, рассчитанные для $(n+1)$ -разрядных чисел, два компаратора, рассчитанные для $(n+1)$ -разрядных чисел, а также компаратор с константой ($b = 1$).

Указанные арифметико-логические устройства (АЛУ) и регистры могут быть реализованы на элементах РВС ПА, на ПЛИС/FPGA. На практике интерес представляет задача факторизации чисел N , разрядность которых n составляет несколько тысяч. При этом каждое из указанных АЛУ, а также каждый из регистров, реализуются каскадно, при использовании множества ПЛИС/FPGA, включенных в состав РВС ПА.

Замечание. Указанные элементы реализуемы на ПЛИС/FPGA как однотипные IP-ядра, что существенно упрощает процесс проектирования на РВС ПА устройства, реализующего Алгоритм.

В работе представлено IP-ядро, совокупность которых позволяет реализовать Алгоритм. IP-ядро оперирует с числами разрядности $r = 56$. Данному ядру соответствуют три функционально-логические схемы, реализуемые в архитектуре ПЛИС семейств Virtex-4, Virtex-5 и Virtex-6: XC4VFX12-SF363, XC5VLX20T-FF323 и XC6VLX75T-FF484, соответственно (Xilinx, Inc.). Сравнительные оценки временной и аппаратной сложности реализации предложенного IP-ядра в архитектуре ПЛИС различных семейств приведены в таблице. Для всех представленных функционально-логических схем количество задействованных блоков ввода-вывода равно 69, а задействованных ячеек памяти (D -триггеров) – 287. Указанные оценки получены при использовании специализированной САПР ISE 14.7 (Xilinx, Inc.).

Таблица 1

Оценки сложности реализации IP-ядра в архитектуре ПЛИС семейств Virtex-4, Virtex-5 и Virtex-6

Семейство ПЛИС	Доля задействованных логических ресурсов (Slices)	Доля задействованных ячеек памяти (D -триггеров)	Доля задействованных блоков ввода-вывода	Максимальные время и частота задержки функционирования (нс/МГц)
Virtex-4	356/10944	287/10944	69/240	11,4 / 87,7
Virtex-5	530/12480	287/12480	69/172	9,59 / 104
Virtex-6	527/46560	287/93120	69/240	9,34 / 107

В результате, для решения задачи факторизации значения N разрядности $n = 4096$, требуется 74 ПЛИС/FPGA. При этом частота работы устройства, реализующего алгоритм Шора, имеет порядок 1,86 – 1,45 МГц.

Современные PBC ПА включают в свой состав более чем 500 ПЛИС/FPGA [3], что делает принципиально разрешимым с точки зрения аппаратной сложности решение задачи факторизации для чисел разрядности более чем $n = 28000$. Правда, частота работы устройства, реализующего представленный алгоритм, будет иметь порядок 175 – 214 КГц. При решении задачи факторизации целесообразно искать компромисс между быстродействием устройства и разрядностью факторизируемых чисел.

Подходы к решению задачи факторизации на специализированных ЭВМ не теряют своей актуальности, пока не разработан квантовый компьютер, реализующий квантовые алгоритмы [4, 9, 10], оперирующие большим количеством квантовых битов (1000 и более). Представляет интерес задача исследования реализации на PBC ПА алгоритма факторизации Шора при использовании однотипных модулей, связанных между собой по данным. Причем каждый модуль реализуем не более, чем на одной ПЛИС класса FPGA, входящей в состав современных PBC ПА, как существующих, так и перспективных.

Список литературы

1. *Ишмухаметов Ш.Т.* Методы факторизации натуральных чисел.: учебное пособие /Ш.Т. Ишмухаметов. – Казань: Казан. ун.-т, 2011. – 192 с.
2. *Шнайер, Б.* Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си/ Б.Шнайер. – М.: Триумф, 2002. – 816 с.
3. *Дордопуло, А.И.* Высокопроизводительные реконфигурируемые вычислительные системы/ А.И. Дордопуло, И.А. Каляев, И.И. Левин и др.// "Суперкомпьютеры". – 2010. – № 3 (3). – С. 44–48.
4. *Shor, P.W.* Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring/ P.W.Shor// Foundations of Computer Science: Conf. Publications. – 1994. – P. 124 – 134.
5. *Зотов, В.Ю.* Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе САПР фирмы Xilinx / В.Ю. Зотов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 522 с.

6. *Захаров В.М.* Вычисление нелинейных полиномиальных функций на многопроцессорной вычислительной системе с программируемой архитектурой/ В.М. Захаров, С.В. Шалагин// Информационные технологии. – 2012. – № 5. – С. 6-11.

7. *Шалагин, С.В.* Реализация устройств вычислительной техники на многопроцессорных системах с программируемой архитектурой/ С.В. Шалагин// Вестник поволжского государственного технологического университета. Сер. «Радиотехнические и информационные системы». – 2011. – № 1. – С. 38-46.

8. *Захаров В.М.* Алгоритм вычисления остатка по модулю и оценки его сложности в базисе ПЛИС/ В.М. Захаров, Е.Л. Столов, С.В. Шалагин// Информационные технологии. – 2010. – № 11. – С. 32-36.

9. *Feynman, R.* Quantum Mechanical Computer/ R. Feynman// Foundations of Physics. – 1986. – Vol. 16. – pp. 507 – 531.

10. *Аблаев Ф.М.* Квантовые ветвящиеся программы – новая парадигма модели квантовых алгоритмов/ Ф.М.Аблаев// Механика, управление и информатика. – 2011. – № 5. – С. 37 – 51.

THE HARDWARE MODULE FOR DISTRIBUTED IMPLEMENTATION OF SHOR'S ALGORITHM IN THE FPGA-ARCHITECTURE

Grishanov S.

Supervisor: S. Shalagin, Doctor of Technical Science degree holder

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Hardware module is implemented in the FPGA-architecture when using CAD. Based on similar modules of the specified type it is possible to creating specialized devices to perform the Shor's algorithm of factorization. The device is implemented on a distributed computing system with programmable architecture, includes FPGA, both existing and prospective.

УДК 681.3

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В АРХИТЕКТУРЕ ПЛИС

Гумиров А.И., Сулейманов С.Ф., Ясавиев Д.Р.

Научный руководитель: В.М. Кузнецов, д-р техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Представлен аппаратно-программный модуль оценки качества случайных последовательностей в архитектуре ПЛИС/FPGA. Алгоритм основан на оценке вероятностей двоичных комбинаций входной последовательности аппаратными средствами.

В процессе разработки новых генераторов случайных последовательностей (ГСП) необходимо иметь возможность оперативного отбора вариантов схемотехнического построения, которые в максимально соответствуют исходным техническим требованиям. В качестве таких требований самыми важными являются свойства равновероятности и некоррелированности [1].

Предполагая высокие скорости работы аппаратных ГСП, необходимо обеспечить контрольно-измерительные процедуры в реальном времени. Реализация этих процедур тоже должна быть аппаратной. Решение задач поиска и оперативного отбора наиболее эффективных построений схем первичных ГСП актуализирует простые аппаратные реализации измерителей качества случайных последовательностей.

1. Постановка задачи

В основу алгоритма работы измерителя выберем такие методы тестирования случайных последовательностей, которые обеспечивают оценку их близости к идеальной случайной модели, и к наихудшему детерминированному поведению. В результате обзора публикаций привлек внимание один из тестов Кнута [1] «Проверка комбинаций». В нем анализируемая последовательность достаточно большой длины разбивается на короткие фрагменты в

виде серий, длиной r и состоящих из 2^r различных комбинаций двоичных символов i_2 . Далее подсчитываются относительные количества $P_{i_2}^*$ всех фрагментов. Окончательная оценка представляет собой величину, выражающую суммарную степень отклонения этих количеств от идеальных значений вероятности серий $P_{i_2}^*$. Чем меньше числовое выражение оценки, тем ближе последовательность к идеальной. Практический интерес имеет использование схемы независимых испытаний Бернулли для равновероятностной последовательности как идеальной [2]. В этом случае $P_{i_2} = 2^{-r}$.

Технически аппаратная реализация тестера допускает как аналоговое построение, так и дискретное. Кратко рассмотрим цифровую основу дискретных преобразований входной последовательности в базисе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС).

Принимая во внимание типичность конфигурирования на кристалле ПЛИС счётчиков достаточно большой ёмкости, дешифраторных и мультиплексорных структур, элементов и фрагментов регистровой памяти, устройств синхронизации и управления [3], опишем ряд необходимых аналитических зависимостей и операторов тестирования для реализации намеченного аппаратного решения.

В данном проекте предусмотрены две математические основы численных критериев аддитивного типа. Это вариант суммы абсолютных значений отклонений оцененных вероятностей и альтернативный вариант в виде суммы квадратов этих же отклонений в виде $I_{|\varepsilon|} = \sum_{i=0}^{2^r-1} |\varepsilon_i|$ и $I_{\varepsilon^2} = \sum_{i=0}^{2^r-1} \varepsilon_i^2$, где $\varepsilon_i = P_{i_2}^* - 2^{-r}$, а соответствие двоичных комбинаций индексам задано в виде

$$\frac{i_2}{i} \begin{matrix} 00 & 01 & 10 & 11 \\ 0 & 1 & 2 & 3 \end{matrix}$$

Нетрудно предположить, что идеальное качество случайной последовательности представимо в обоих вариантах критерия суммами всех нулевых слагаемых, т.е. $I_{|\varepsilon| \min} = I_{\varepsilon^2 \min} = 0$. Противоположный предельный случай относится к результату расчета критерия на последовательностях с «наихудшей случайностью». Это вырождение случайной последовательности в

константное состояние либо все нули (000...0), либо все единицы (111...1). Реакция критериев на константные воздействия позволяет выразить их максимальные значения следующими соотношениями: $I_{|\varepsilon|_{\max}} = 2(1 - 2^{-r})$ и $I_{\varepsilon^2_{\max}} = 1 - 2^{-r}$.

На основании этих максимумов получаем нормированные формы вида: $\hat{I}_{|\varepsilon|} = \frac{0,5}{1-2^{-r}} \sum_{i=0}^{2^r-1} |P_{i_2}^* - 2^{-r}|$ и $\hat{I}_{\varepsilon^2} = \frac{1}{1-2^{-r}} \sum_{i=0}^{2^r-1} (P_{i_2}^* - 2^{-r})^2$, с фиксированной областью значений $\hat{I}_{|\varepsilon|}, \hat{I}_{\varepsilon^2} \in [0; 1]$, что упрощает сравнительный анализ экспериментальных данных с разными величинами r .

2. Аппаратная реализация

Применительно к критерию $\hat{I}_{|\varepsilon|}$, необходимо выполнение следующих математических и процедурно-алгоритмических операций: двоичный счет $P_{i_2}^*$, параметрическое задание константы 2^{-r} , ее вычитание из $P_{i_2}^*$, образование модуля разности, многоразрядное суммирование числовых кодов этих модулей, нормирование и индикация. Организация перечисленных операций реализована на аппаратных ресурсах ПЛИС [3] по схеме, изображенной на рисунке.

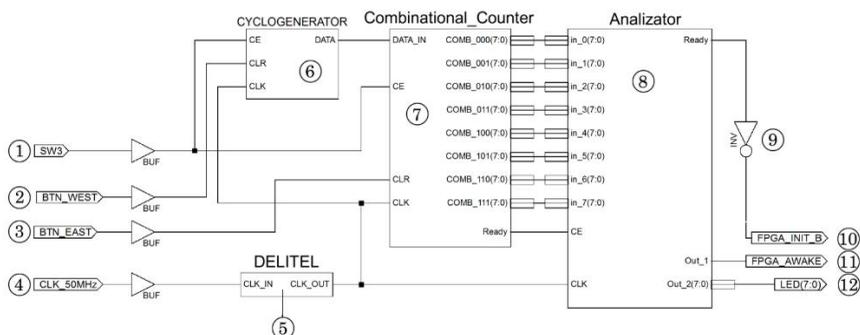


Рис. 1. Структурная схема устройства оценки качества ГСП

На схеме использованы следующие обозначения: 1 - 4 – входные сигналы разрешения счета, начальной установки ГПСЦ, сброса счетчика комбинаций, синхронизации и управления; 5 – делитель тактовой частоты; 6 – ГПСЦ; 7 – блок подсчета

количества комбинаций; 8 – блок вычисления критерия оценки качества; 9 – инвертор; 10 - 12 – сигналы выходного порта готовности результата соответственно в форме целой и дробной частей.

Основными операциями вычисления $P_{i_2}^*$, как оценок соответствующих вероятностей, является двоичный счет сигналов появления текущих r -ичных комбинаций i_2 во входной последовательности $\langle \alpha \rangle_2$. Эти функции осуществляются счетчиками блока 7 в реальном режиме времени с анализируемым ГСП.

Получение и объединение промежуточных результатов вычислений в окончательную форму производится в блоке 8. Полная организация цикла вычислений, формирования и вывода результата осуществляется блоками и сигналами 5 и 9 - 12 под управлением со стороны входных сигналов 1 - 4. Промежуточные и окончательные величины представлены в формате 8-разрядных чисел с фиксированной запятой перед старшим разрядом.

Большая часть блоков не являются стандартными библиотечными элементами системы автоматизации проектирования [4]. Однако они допускают включение в общий проект ПЛИС посредством алгоритмического языка описания электронных схем типа VHDL.

3. Тесты

Приведем малоразмерные примеры формирования конкретных числовых значений введенных критериев как результатов тестирования последовательностей с выхода ГСП двух уровней качества: «предельно плохого» и «максимально хорошего». Пусть длины минимальных периодов двух последовательностей выбраны равными 12. Добавив $r-1$ символов по ходу цикла к общей длине, получим условие формирования полных r -ичных комбинаций i_2 для организации счета в критерии. Приведем примеры для случая $r=2$, что будет соответствовать рабочей длине выборки с выхода ГСП равной 13. При этом идеальные значения вероятностей двухразрядных комбинаций гипотетических Бернуллиевских последовательностей составят константу $2^{-r} = 0,25$.

Пример 1. Случайная последовательность $\langle \alpha \rangle_2$ выродилась в константу 1. $\langle \alpha \rangle_2 = 1 \dots = 111111111111 \Rightarrow \langle i \rangle = 3333333333$.

Промежуточные и окончательные результаты расчетов сведем в матрицу вида:

i_2	00	01	10	11	$I_{ \varepsilon }$	$\hat{I}_{ \varepsilon }$	I_{ε^2}	\hat{I}_{ε^2}
N_{i_2}	0	0	0	12	—	—	—	—
$P_{i_2}^*$	0	0	0	1	—	—	—	—
$ \varepsilon $	0,25	0,25	0,25	0,75	1,5	1	—	—
ε^2	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	—	—	0,75	1

Полученные значения критериев $I_{|\varepsilon| \max} = 1,5$ и $I_{\varepsilon^2 \max} = 0,75$ соответствуют предельно плохому качеству сигнала с выхода ГСП при данном параметре $r=2$, что в нормированных формах выражается как $\hat{I}_{|\varepsilon|} = \hat{I}_{\varepsilon^2} = 1$.

Пример 2. Случайная равновероятностная последовательность имитируется наиболее «удачной» псевдослучайной в смысле схемы Бернулли в указанных параметрах. $\langle \alpha \rangle_2 = 000010111101 \dots = 0000101111010 \Rightarrow \langle i \rangle = 000121333212$,

i_2	00	01	10	11	$I_{ \varepsilon }$	$\hat{I}_{ \varepsilon }$	I_{ε^2}	\hat{I}_{ε^2}
N_{i_2}	3	3	3	3	—	—	—	—
$P_{i_2}^*$	0,25	0,25	0,25	0,25	—	—	—	—
$ \varepsilon $	0	0	0	0	0	0	—	—
ε^2	0	0	0	0	—	—	0	0

Полученные результаты оценивания представляют предельно высокое качество последовательности как случайной нулевыми значениями критериев, применительно к длине 12 и $r=2$.

4. Заключение

Рассмотренные примеры расчетов критериев для двухразрядных комбинаций нацелены на статистический анализ вероятностных моментов второго порядка относительно соседних позиций временной развертки последовательности. Понимая под этими же комбинациями пары символов, разделенных двумя и

более тактовыми интервалами, нетрудно ориентировать введенные критерии на выявление автокорреляционных связей при любом конечном лаге (аргументе корреляционной функции).

Вводя параметр $r > 2$ и задавая любую расстановку тактовых расстояний между символами в анализируемых комбинациях, предложенный подход допускает расширение функциональных свойств тестера до выявления статистических особенностей моментных функций любого r -го порядка.

Список литературы

1. *Иванов М.А., Чугунков И.В.* Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей. М., «Кудиц-образ», 2003. 240 с.
2. Генератор случайных чисел. <http://xreferat.com/33/3934-1-generator-sluchaiynyh-chisel.html>
3. Спецификация ПЛИС семейства Spartan-3 фирмы Xilinx (Spartan-3 Generation FPGA User Guide) [Электронный ресурс]. http://www.xilinx.com/support/documentation/user_guides/ug332.pdf
4. Исчерпывающее учебное пособие по САПР ISE (ISE In-Depth Tutorial) [Электронный ресурс]. http://www.xilinx.com/support/documentation/sw_manuals/xilinx11/ise11tut.pdf

PRESENTATION OF THE HARDWARE-SOFTWARE MODULE FOR ESTIMATING THE QUALITY OF RANDOM SEQUENCES IN THE FPGA ARCHITECTURE

Gumirov A., Suleimanov S., Yasaviev D.

Superviso: V. Kuznetsov, Dr. Tech. Sciences, Professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

A hardware-software module for estimating the quality of random sequences in the FPGA / FPGA architecture is presented. The algorithm is based on the evaluation of the probabilities of binary combinations of the input sequence by hardware.

УДК 004.7

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАБОРА УТИЛИТ И БИБЛИОТЕК HADOOP

Кожин А.С.

Научный руководитель: Р.Ф. Гибадуллин, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данный момент Hadoop лежит в основе механизмов обработки данных крупнейших поисковых систем, но несмотря на это лучше описывать его в качестве фреймворка для распределенной обработки данных. Здесь нужно знать, что обрабатываются не просто данные, а огромные массивы данных, которыми оперируют поисковые системы. Являясь распределенным фреймворком, Hadoop позволяет создавать приложения, использующие преимущества параллельной обработки данных.

Актуальность

Hadoop используется для более быстрого и эффективного выполнения обработки данных, чем стандартные суперкомпьютерные архитектуры, где процессы вычисления и обработка данных распределяются через высокоскоростные сети. Hadoop работает напрямую с распределенной файловой системой, которую может устанавливать стандартная операционная система, используя URL-адрес file://.

Работа на одном узле

Данная работа выполняется на операционной системе Ubuntu. Для получения дистрибутива Hadoop применяется утилита apt. Это процедура позволяет получить готовый бинарный пакет, который позволяет избавиться от необходимости загрузки и компиляции исходного кода.

Установка дистрибутива Hadoop происходит следующим образом:

Сначала сообщается утилите apto сайте Cloudera: создается новый файл /etc/ apt/sources.list.d/cloudera.list и добавляется в него следующий текст:

```
debhttp://archive.cloudera.com/debian intrepid-cdh3contrib
deb-srchttp://archive.cloudera.com/debian intrepid-cdh3contrib
```

Получаем ключ apt-key от Cloudera для проверки подлинности загруженного пакета:

```
$ curl -s http://archive.cloudera.com/debian/archive.key | \
sudo apt-key add - sudo apt-get update
```

После этого устанавливаем Hadoop, используя псевдораспределенную конфигурацию (все демоны Hadoop запускаются на одном узле):

И наконец, с помощью команды Hadoop отформатируем файловую систему Hadoop FileSystem (HDFS). [1]

Для Hadoop – нужно лишь запустить каждый из его демонов. Демоны в Hadoop – это процесс, который выполняется в фоновом режиме.

У Hadoop есть пять таких демонов. Это namenode, secondary namenode, datanode, jobtracker и tasktracker. Каждый демон запускается отдельно в своём собственном JVM (JavaVirtualMachine). При запуске каждого демона видно несколько строк текста (указывающих, где будут храниться log-файлы).

На рисунке 1 показано, как выглядит узел в псевдораспределенной конфигурации после запуска Hadoop.

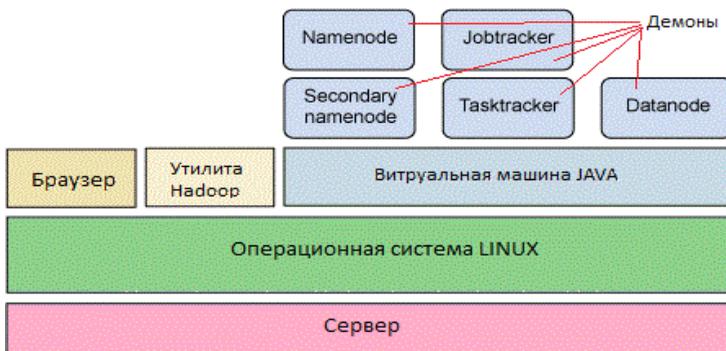


Рис. 1. Псевдораспределенная конфигурация Hadoop

ПОДСЕКЦИЯ 5.5. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Рассмотрим, за что отвечает каждый демон в Hadoop. Демон `namenode` является ведущим узлом, который выполняет хранение метаданных для всех файлов и каталогов, а также управляет доступом к файлам, хранящимся в кластере. Демон `secondary namenode` следит за выполнением контрольных точек и прочие вспомогательные задачи.

В кластере Hadoop используется только один узел типа `namenode` и один узел типа `secondary namenode`. Демон `datanode` - это подчиненный узел, который управляет хранилищем, подключенным к отдельному узлу кластера (в кластере может быть множество узлов). На каждом узле, в котором хранятся данные, постоянно будет использоваться демон `datanode`.

В каждом кластере будет выполняться только один экземпляр демона `jobtracker`, который руководит распределением задач между узлами `datanode`, и по одному экземпляру демона `tasktracker` для каждого узла `datanode`, который выполняет всю работу. Демоны `jobtracker` и `tasktracker` работают по схеме "главный-подчиненный": `jobtracker` распределяет задачи между узлами `datanode`, а `tasktracker` выполняет полученные задания. Кроме того, `jobtracker` проверяет результаты выполненных задач, и если узел `datanode` по какой-то причине прерывается, то выполнение незавершенных задач переназначаются на другие узлы. В нашей конфигурации все узлы находятся на одном физическом хосте.

Распределение Hadoop

Hadoop был сконфигурирован так, чтобы все его демоны работали на одной машине. Для выполнения параллельных операций нужно распределить Hadoop. В распределенной конфигурации Hadoop имеется главный (`master`) узел и несколько подчиненных (`slave`) узлов (рисунок 2).

Как показано на рисунке 2, на главном узле работают демоны `namenode`, `secondary namenode` и `jobtracker` (так называемые `master-демоны`). Кроме того, с этого узла выполняется управление кластером (с помощью утилиты Hadoop и Web-браузера). На подчиненных узлах используются демоны `tasktracker` и `datanode` (`slave-демоны`).

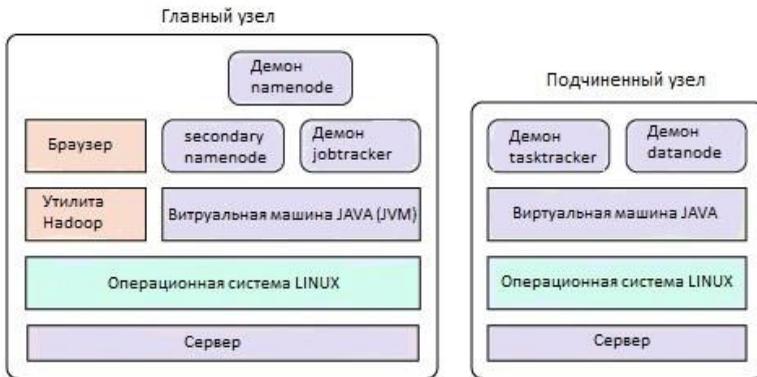


Рис. 2. Разделение Hadoop на главный узел и подчиненный

Много узловая конфигурация

Далее создаем новую конфигурацию, сделав копию файла уже существующей конфигурации.

Листинг 1. Активизация и проверка конфигурации Hadoop

```
$ sudo update-alternatives --install /etc/hadoop-0.20/conf hadoop-0.20-conf \
/etc/hadoop-0.20/conf.dist 40
$ update-alternatives --display hadoop-0.20-conf hadoop-0.20-
conf - status is auto. link currently points to /etc/hadoop-0.20/conf.dist
/etc/hadoop-0.20/conf.empty - priority 10
/etc/hadoop-0.20/conf.pseudo - priority 30
/etc/hadoop-0.20/conf.dist - priority 40 Current `best' version is
/etc/hadoop-0.20/conf.dist.
$
```

Активизация и проверка конфигурации Hadoop

Мы получили новый конфигурационный файл `conf.dist`, на основе которого будем создавать новую распределенную конфигурацию. На данном этапе создайте два клона этой виртуальной машины – они будут выступать в качестве узлов DataNode.

Конфигурация Hadoop для распределенной работы

Производим настройку взаимосвязей между узлами. Для этого используются файлы с именами `masters` и `slaves`, расположенные

ПОДСЕКЦИЯ 5.5. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

в директории `/etc/hadoop-0.20/conf.dist`. Имеются три узла (листинг 2), которым в файле `/etc/hosts` назначены статические IP-адреса:

Листинг 2. Записи для узлов Hadoop в файле `/etc/hosts`

```
master 192.168.108.133
```

```
slave1 192.168.108.134
```

```
slave2 192.168.108.135
```

На главном узле обновим файл `/etc/hadoop-0.20/conf.dist/masters`, обозначив главный узел, как:

```
master
```

На подчиненных узлах обновим файл `/etc/hadoop-0.20/conf.dist/slaves`, добавив следующие две строки:

```
slave1
```

```
slave2
```

С каждого узла подключаемся с помощью `ssh` к двум другим узлам, чтобы проверить, что беспарольный `ssh` работает. Каждый из этих файлов (`masters`, `slaves`) используется утилитами запуска и останова Hadoop.

Далее указываем хозяина HDFS в файле `core-site.xml` (листинг 3), задав адрес и порт службы `namenode`. В файле `core-site.xml` задаются основные параметры Hadoop.

Листинг 3. Определение хозяина HDFS в файле `core-site.xml`

```
<configuration>
```

```
<property>
```

```
<name>fs.default.name</name>
```

```
<value>hdfs://master:54310</value>
```

```
<description>The name and URI of the default FS.</description>
```

```
</property>
```

```
</configuration>
```

Также нам необходимо задать параметры службы `MapReduceJobTracker`. Демон `jobtracker` может работать на своем собственном узле, но в данной конфигурации помещаем его на главный узел, как показано в листинге 4. В файле `mapred-site.xml` задаются параметры функционала `MapReduce`.

Листинг 4. Задание параметров `MapReduceJobTracker` в файле `mapredsite.xml`

```
<configuration>
```

```
<property>  
<name>mapred.job.tracker</name>  
<value>master:54311</value>  
<description>Map Reduce jobtracker</description>  
</property>  
<configuration>
```

Задаем фактор репликации по умолчанию (листинг 5). Данный параметр определяет количество реплик, которые будут созданы. В нашем случае зададим значение, равное 2 (количество узлов типа DataNode). Это значение определяется в файле `hdfs-site.xml`, содержащем параметры файловой системы HDFS. [3]

Список литературы

1. Чак Лэм. Hadoop в действии. 2012. – 424с.
2. Даг Каттинг. Разработавший фреймворка Hadoop для поддержки распространения поискового механизма Nutch. 2012. – 246 с
3. Уайт Том. Hadoop. Подробное руководство. 2013. – 367 с.
4. Гибадуллин Р.Ф., Новиков А.А., Хевронин Н.В., Перухин М.Ю. Разработка параллельного модуля генерации защищенной картографической базы данных // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2016. – № 10. – С.102-105.
5. Гибадуллин Р.Ф., Никитин А.П., Перухин М.Ю. Построение сети на основе технологии GPON // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2017. – Т.20, №5. – С.104-108.

DISTRIBUTED DATA PROCESSING WITH A SET OF HADOOP UTILITIES AND LIBRARIES

Kozhin A.

Supervisor: R. Gibadullin, Ph.D., Associate Professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

*ПОДСЕКЦИЯ 5.5. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ,
КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ*

Despite the fact that Hadoop is at the heart of thinning out the data of some of the largest search engines, it is better to describe it as a framework for distributed data processing. It should be noted here that not just data is processed, but huge data sets, which are operated by search engines. As a distributed framework, Hadoop allows you to create applications that take advantage of parallel processing.

УДК 004.7

ОРГАНИЗАЦИЯ WEB-СЕРВИСА НА БАЗЕ ПРОТОКОЛА HTTP/2

Кожин Д.С.

Научный руководитель: Р.Ф. Гибадуллин, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В наше время низкие энергозатраты мобильных устройств при использовании web-сервисов имеет важное значение для конечных пользователей. Протокол HTTP/2 был предложен и принят в качестве нового стандарта для поддержки WorldWideWeb. В данной работе представлены результаты показывающие, что использование HTTP/2 повышает скорость загрузки http-страниц, что приводит к сокращению энергозатрат вследствие малого времени работы с мобильным устройством в ходе загрузки web-контента.

Актуальность статьи

Актуальность исследования обусловлена значительным увеличением популярности мобильных устройств, таких как смартфоны, их полезность ограничивается аккумуляторной емкостью. Мобильные пользователи очень заинтересованы в получении доступа в Интернет, хотя это один из наиболее дорогостоящих операций с точки зрения энергии и затрат [1].

В последние годы популярность мобильных устройств (например, смартфоны и планшеты) резко возросло. Начиная с 2014 года, более чем 1,4 млрд смартфонов использовались во всем мире, это обусловлено увеличением трафика мобильных данных. С помощью последних технологических достижений наблюдается улучшения памяти и возможности мобильных устройств. Кроме того, эти устройства поставляются с широким спектром датчиков и различных компонентов ввода-вывода, включая цифровой камерой, Wi-Fi-адаптер, GPS-датчик, и т.д. Эти новые возможности, однако, приходят с новыми вызовами: наличие этих устройств серьезно сдерживается ограниченностью батареи. Исследование показывает,

что большая объем батареи является одной из самых желаемых функций среди пользователей смартфонов. К сожалению улучшения в технологии, связанной с электроёмкостью, является минимальным по сравнению с улучшениями в вычислительной среде, таким образом усиливая растущую важность разработки, приложений которые будут связаны с уменьшением энергопотреблением мобильных устройств [2].

Мощность и энергия

В этой статье мы изучим потребление энергии и потреблении мощности, с помощью изменением рабочей нагрузки используя протоколы HTTP/1.1 и HTTP/2. В данном контексте, мощность определяется как скорость выполнения работы, а энергия как способность выполнять работу. В нашем случае количество энергии, потребляемой устройством за определенный период, равно потреблению мощности. Мощность измеряется в ваттах, а энергия измеряется в джоулях. Задача, которая использует 4 Вт мощности в течение 60 секунд, потребляет 240 Дж энергии. Для задач с одинаковым периодом времени для снижения шума, часто используется средняя мощность. Эта разница между мощностью (скоростью) и энергией (совокупностью) важна для понимания, однако улучшение одного не обязательно означает улучшение другого [4].

Сравнения HTTP / 1.1 и HTTP / 2

Чтобы сравнить производительность HTTP / 2 с HTTP / 1.1 для разных сетевых сценариев, мы проводили эксперименты с сервером Gopher с различными задержками: 0 мс, 30 мс, 200 мс и 1000 мс также для экспериментов мы использовали 10 различных версий Mozilla Firefox Nightly, что гарантировало точность результатов и меньшее количество ошибок связанные с энергопотреблением. Результат показан на рисунках 1, 2, 3, 4. Входе эксперимента мы выявили, что при низком RTT производительность HTTP / 1.1 выше по сравнению с HTTP/2. Без задержек HTTP / 2, не предлагает никаких улучшений по сравнению с HTTP / 1.1, а защищенная зашифрованная передача становится накладными расходами, что приводит к увеличению потреблению энергии. HTTP / 1.1 теряет свое преимущество перед HTTP / 2, когда латентность составляет 30 мс или больше. Мы подозреваем, что HTTP / 2 превзошел бы

HTTP / 1.1 при низком RTT, если он был бы реализован без TLS. Однако эти накладные расходы из TLS становятся незначительными для RTT 200 мс и 1000 мс; HTTP / 2 значительно превосходит HTTP / 1.1 с высоким RTT. Во всех случаях значения P были низкими ($<0,05$), а значения d Коэна - размер эффекта - были очень высокими [3].

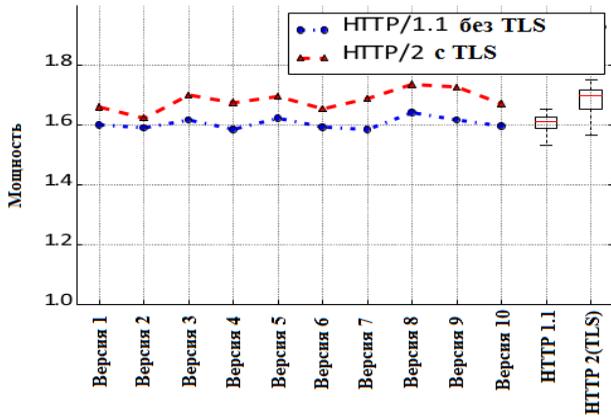


Рис. 1. Задержка при 0 мс, RTT 0 мс

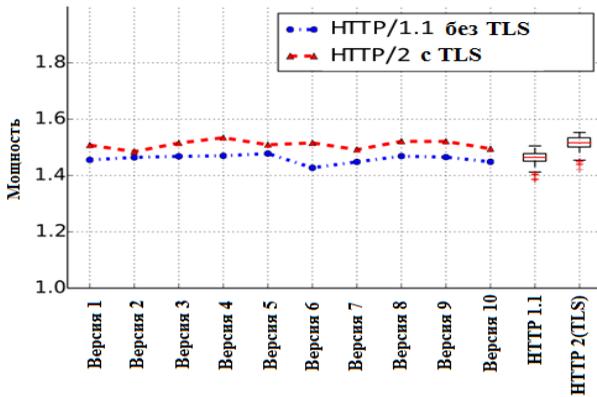


Рис. 2. Задержка 30 мс, RTT 30 мс

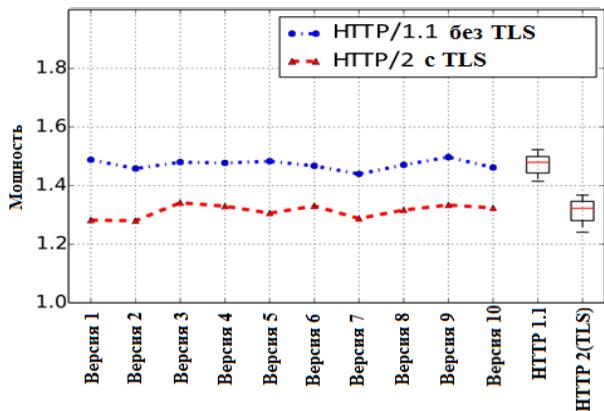


Рис. 3. Задержка 200 мс, RTT 200 мс

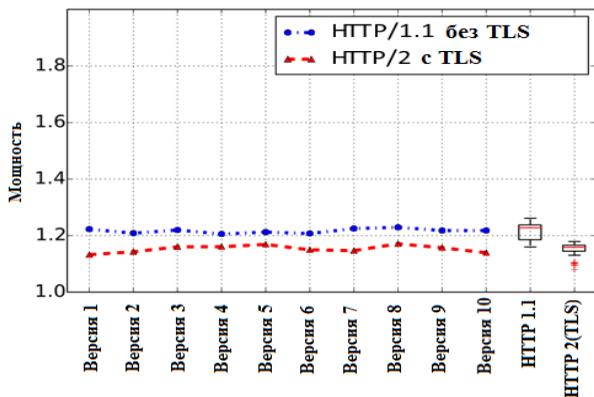


Рис.4. Задержка 1000 мс, RTT 1000 мс

Заключение

Наши тесты показывают, что HTTP/2 превосходит HTTP / 1.1 с TLS в большинстве сценариев. На примере MozillaFirefoxNightly показано что реализация HTTP / 2 потребляет меньше энергии, чем реализация HTTP / 1.1, для выполнения той же работы независимо от веб-сервера, используемого в тестах. При этом, HTTP / 1.1 ста-

новится дорогостоящим для большого числа соединений TCP с большим количеством объектов. Это становится еще хуже, когда RTT выше, что распространено в сотовых сетях и передачи данных. С другой стороны, HTTP / 2 не имеет этой проблемы, поскольку она имеет дело с одним единственным соединением посредством включения технологии мультиплексирования. Однако преимущество HTTP / 2 сильно зависит от времени прохождения туда и обратно между клиентом и сервером. Мы пришли к выводу, что веб-служба, передаваемая по протоколу HTTP / 2, будет более мобильна для пользователей, особенно в сетях с высокой латентностью для беспроводных сетей и сетей Wi-Fi, а разработчики приложений, которые разрабатывают энергопотребительные приложения, должны принять протокол HTTP / 2 [5].

Список литературы

1. К. Аггарвал, С. Чжан, J. С. Кэмпбелл, А. Хиндл и э. Stroulia. Мощность системы вызова следы: прогнозирование последствий потребления энергии программного обеспечения изменений.

В XXIV ежегодной международной конференции по компьютерных наук и разработки программного обеспечения, CASCON '14, страниц 219 – 233, ноября 2014 г.2. Анваров А.Д. Методика оценки ресурса безопасной эксплуатации оборудования

2. Н. Баласубраманиан, А. Баласубраманиан и А. Venkatarani. Потребление энергии в мобильных телефонах: исследование измерения и последствия для сетевых приложений. В 9 ACM SIGCOMM конференции по интернет измерение конференции, IMC '09, страниц 280 – 293, Чикаго, Иллинойс, США, Ноябрь 2009 г.4. Галимов Э.Р., Абдуллин И.А., Беляев А.В., Сироткина Л.В.

3. Гибадуллин Р.Ф., Новиков А.А., Смирнов И.Н., Перухин М.Ю. Разработка модуля мониторинга сетевой активности при обращении к защищенной картографической базе данных // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2016. – № 8. – С.95-99.

4. Гибадуллин Р.Ф., Новиков А.А., Смирнов И.Н., Перухин М.Ю. Управление доступом и защита беспроводной передачи картографической информации // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2016. – № 8. – С.105-109.

5. А. Хиндл. Зеленые добычи: Расследование Потребляемая мощность в разных версиях. В работе 34-й Международной конференции по программной инженерии, ICSE ' 12, страниц 1301-1304, Цюрих, Швейцария, Июнь 2012.

ORGANIZATION OF A WEB SERVICE BASED ON THE HTTP / 2 PROTOCOL

Kozhin D.

Supervisor: R. Gibadullin, Ph.D., Associate Professor
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

In our time, low power consumption of mobile devices when using web-services is important for end users. The HTTP / 2 protocol was proposed and adopted as a new standard for supporting the World Wide Web. This paper presents results showing that the use of HTTP / 2 increases the download speed of http-pages, which leads to a reduction in energy costs due to the short time of working with the mobile device during the download of the web-content.

УДК 004.27

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ НАД ПОЛЕМ ГАЛУА В АРХИТЕКТУРЕ ПЛИС/FPGA

Мухаметзянова М.А.

Научный руководитель: С.В. Шалагин, д.т.н, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

При использовании САПР реализован аппаратный модуль в архитектуре ПЛИС/FPGA. На основе однотипных модулей указанного типа возможно реализовать устройство для распределенного вычисления нелинейной полиномиальной функции от заданного количества переменных, определенной над полем Галуа, в архитектуре ПЛИС/FPGA. Устройство реализуемо с применением декомпозиции Шеннона на распределенной вычислительной системе с программируемой архитектурой, включающих в свой состав ПЛИС/FPGA, как существующие, так и перспективные.

В настоящее время актуальна задача синтеза цифровых устройств на многопроцессорных вычислительных системах с программируемой архитектурой (МВС ПА), элементами которой являются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) класса FPGA. Перспективным подходом к решению данной задачи является синтез указанных устройств на основе однотипных IP-ядер (англ. Intellectual Property), определенных в архитектуре FPGA, на одном корпусе ПЛИС/FPGA реализуемо не более чем одно IP-ядро. В работах [1-3] показано развитие указанного подхода на решение задачи синтеза генераторов дискретных стохастических процессов класса марковских и их функций, а также устройств цифровой обработки сигналов, реализующих дискретные ортогональные преобразования. В работе [6] предложен подход к реализации булевых функций от заданного количества переменных в архитектуре ПЛИС/FPGA на основе декомпозиции Шеннона. Указанный подход может быть развит на решение задачи реализации нелинейных полиномиальных функций от заданного ко-

личества переменных и определенных над полем Галуа вида $GF(2^2)$ в архитектуре ПЛИС семейства Virtex-4. Поле данного типа выбрано из-за высокой степени соответствия архитектуре: 1) ПЛИС Virtex-4 [7]; 2) семейства ПЛИС отечественного производства.

В работе решена задача синтеза однотипных аппаратных модулей, IP-ядер, позволяющих реализовать нелинейную полиномиальную функцию (НПФ) от m переменных над полем Галуа вида

$$f(x_1, \dots, x_m) = \sum_{i_1=0}^3 \dots \sum_{i_m=0}^3 a_{i_1 \dots i_m} x_1^{i_1} \dots x_m^{i_m}, \quad (1)$$

где $a_{i_1 \dots i_m}, x_1^{i_1}, \dots, x_m^{i_m} \in GF(2^2)$ – элементарный полином, $i_j = \overline{0, 3}$, $j = \overline{1, m}$, $w = 2^k - 1$, символом \sum обозначена операция вычисления поразрядной суммы по модулю два.

НПФ вида (1) реализуема на основе IP-ядер, реализующих НПФ от v переменных, $v < m$, связанных между собой через декомпозицию Шеннона. В общем случае НПФ вида (1) представима согласно выражению:

$$f(x_1, \dots, x_m) = \bigcup_{D_{v+1}=0}^3 \dots \bigcup_{D_m=0}^3 \left\{ \left(\sum_{i_1=0}^3 \dots \sum_{i_v=0}^3 a_{i_1 \dots i_v} x_1^{i_1} \dots x_v^{i_v} \right) \cdot \bigcap_{j=v+1}^m (i_j = D_j) \right\}, \quad (2)$$

где $D_j = \overline{0, 3}$. Операция дизъюнкции выполняется отдельно над каждым из двух разрядов двоичного вектора, представляющего собой элементы поля Галуа вида $GF(2^2)$.

В формуле (2) верхняя оценка количества НПФ от v переменных над $GF(2^2)$ определена как 4^{m-v} .

Замечание 1. Указанные IP-ядра реализуемы на ПЛИС семейства Virtex-4, что существенно упрощает процесс проектирования на РВС ПА устройства для вычисления НПФ вида (1).

Замечание 2. Вычисление дизъюнкции в формуле (2) может быть реализовано в архитектуре ПЛИС/FPGA как «проводное ИЛИ», что существенно снижает аппаратную сложность вычисления НПФ от m переменных над $GF(2^2)$.

В работе получены оценки сложности для IP-ядер, реализу-

ющих НПФ от ν переменных, $\nu = 2$, над $GF(2^2)$ в архитектуре ПЛИС XC4VFX12 - SF363 (Xilinx, Inc.) при использовании специализированной САПР ISE 14.7.

Доля задействованных логических ресурсов (Slices) – 11/5,472

Доля задействованных блоков ввода-вывода – 14/240

Максимальные время и частота задержки функционирования (нс/МГц) – 7,253/138.

Сколько IP-ядер можно реализовать на одной ПЛИС семейства Virtex-4?

В результате, для решения задачи параллельного вычисления значения НПФ вида (1) от $m=7$ переменных требуется 4 ПЛИС, сопоставимых по характеристикам с XC4VFX12 - SF363. Современные РВС ПА включают в свой состав более чем 500 ПЛИС/FPGA [3], что делает принципиально разрешимым с точки зрения аппаратной сложности решение задачи вычисления НПФ над $GF(2^2)$ от 6 переменных. Представляет интерес задача исследования реализации системы НПФ над полем Галуа вида $GF(2^k)$, $k > 2$, на РВС ПА: как на существующих, так и на перспективных. Распределенное вычисление значений множества НПФ(m) вида (1) применимо, в частности, для решения задач высокоскоростной обработки радиосигналов [9, 10].

Список литературы

1 Захаров В.М. Алгоритм вычисления остатка по модулю и оценки его сложности в базисе ПЛИС/ В.М. Захаров, Е.Л.Столов, С.В. Шалагин// Информационные технологии. – 2010. – № 11. – С. 32-36.

2 Шалагин, С.В. Реализация устройств вычислительной техники на многопроцессорных системах с программируемой архитектурой/ С.В.Шалагин// Вестник МарГТУ. – 2011. – № 1 (11). – С. 38 – 46.

3 Захаров, В.М. Вычисление нелинейных полиномиальных функций на многопроцессорной системе с программируемой архитектурой/ В.М.Захаров, С.В.Шалагин// Информационные технологии. - 2012. - №5. - С. 6 – 11.

ПОДСЕКЦИЯ 5.5. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ,
КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

4 Шалагин, С.В. Сложность вычисления нелинейных полиномиальных функций над полем $GF((2^2)^k)$ на ПЛИС/FPGA/ С.В.Шалагин// АКТО-2014: сб. докладов междунар. научно-практич. конф. Т. II. – Казань, 2014 – С. 661 – 664.

5 Zakharov, V.M. Executing discrete orthogonal transformations based on computations on the Galois field in the FPGA architecture/ V.M.Zakharov, S.V.Shalagin// 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). IEEE. 12-14 May 2016. DOI 10.1109/SIBCON.2016.7491652. P. 1-4. IEEE. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=7491652>

6 Чебурахин И.Ф. Конвейерное вычисление булевых функций на основе однотипных IP-ядер в архитектуре ПЛИС/Virtex/ И.Ф.Чебурахин, С.В.Шалагин// Мехатроника, автоматизация, управление. – 2015. – №1. – С. 3-8.

7 Дордопуло, А.И. Высокопроизводительные реконфигурируемые вычислительные системы/ А.И. Дордопуло, И.А. Каляев, И.И. Левин и др.// "Суперкомпьютеры". – 2010. – № 3 (3). – С. 44–48.

8 ПЛИС 5576XC4T/ ЗАО «Радиант-Элком». 1997-2013. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.radiant.su/rus/news/?action=show&id=565>

9 Чабдаров Ш.М. Новые методы и статистические алгоритмы обработки сигналов для систем подвижной радиосвязи/ Ш.М.Чабдаров, Р.Р.Файзуллин, В.В.Кадушкин. – Казань: ООО «Новое знание», 2016. – 184 с.

10 Файзуллин Р.Р. Комплексный подход к решению задачи структурного синтеза мультипроцессорных устройств обработки сигналов мобильных инфокоммуникационных систем/ Р.Р.Файзуллин// Инфокоммуникационные технологии. – 2011. – Т.9. №. 1. – С. 40-48.

**THE HARDWARE MODULE FOR DISTRIBUTED
IMPLEMENTATION OF SHOR'S ALGORITHM
IN THE FPGA-ARCHITECTURE**

Mukhametzjanova M.

Supervisor: S. Shalagin, Doctor of Technical Science degree holder
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan*)

Hardware module is implemented in the FPGA-architecture when using CAD. Based on similar modules of the specified type it is possible to realize a device for the distributed computation non-linear polynomial function from the set of variables defined over Galois field in the FPGA-architecture. The device is implemented with use of the Shannon decomposition on a distributed computing system with programmable architecture, comprising FPGA, both existing and prospective.

УДК 628

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗА ИЗ СОПЛА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Наплеков И.С.

Научный руководитель: Д.И. Пашенко, к.т.н., доцент
(Самарский государственный технический
университет, г. Самара)

Составлена двухмерная модель процесса истечения идеального газа, с целью получения универсальной картины, верифицируемой с результатами истечения из сопла, полученными опытным путем. Итоговые результаты работы, согласуются с теоретическими и экспериментальными данными, подтверждена универсальность картины истечения. Изучены зависимости между методами замыкания уравнения Навье-Стокса - моделями истечения и характером поведения потока.

Введение

Цель данной работы - оценка возможностей CFD моделирования для получения результатов, достаточных для разработки и наглядных испытаний новых инженерных решений задач истечения, с использованием различных моделей турбулентности в рамках ограничений версии ANSYS for Students. Исследование выполнено в программном продукте ANSYS с использованием решателя Fluent.

Конфигурация методов исследования

Поставленная задача решается в двухмерной плоскости; Численное исследование проводилось как в рабочей зоне сопла, так и в области, прилегающей к ней, с целью получения характеристик поведения газового потока при истечении из конического сопла. Расчетная область состоит из сужающегося-расширяющегося конического сопла – сопла Лавая, в котором происходит разгон проходящего по нему газового потока до сверхзвуковых скоростей, а также из свободной области его работы, где газ может беспрепят-

ственно перемещаться. Для построения расчетной геометрии использовался встроенный в ANSYS модуль – DesignModeler.

Для повышения точности решения задачи была проведена адаптация сетки во встроенном модуле Meshing. Контуры величин, полученные в данном исследовании – это результат решения уравнений. Математическое описание модели в общем виде представляет систему уравнений, состоящую из уравнений неразрывности, закона сохранения количества движения и закона сохранения энергии [1], [2]

Уравнение неразрывности для сжимаемой жидкости для плоского пространства:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0, \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³; v – скорость, м/с.

Закон сохранения количества движения:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho u_i u_j), \quad (2)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

Закон сохранения энергии:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(a + a_t) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right], \quad (3)$$

где a и a_t – молекулярный и турбулентный коэффициент теплопроводности, соответственно, м²/с; T – температура, К.

Уравнения (1)-(3) решаются для начальных и граничных условий, приведенных ниже. Для замыкания уравнения Навье-Стокса было выбрано 6 моделей турбулентности: k-ε Standard, k-ε RNG (без дифференциальной модели вязкости), k-ε Realizable, k-ω Standard, k-ω SST. Рабочее тело – идеальный газ. Вычисление модели проводится в среде атмосферного давления (101325 Па) и окружающей температуры 300 К. Входные условия: давление – 1000000 Па и температура газа – 500 К, без избыточного давления

на выходе. Для потока и кинетической энергии выбраны уравнения второго порядка. [3], [4].

Изложение и обсуждение результатов

CFD-моделирование было проведено с каждой из выбранных моделей турбулентности для дальнейшего анализа результатов, с целью выбрать модель (или несколько), использование которой позволяет получить универсальную картину истечения газа из сопла, верифицируемую корректно с экспериментальными и теоретическими данными. Главным критерием для оценки моделей турбулентности является их корректная верификация и валидация. Полная картина истечения с изображениями контуров скорости (максимальная скорость потока газа = 774 м/с) представлена на Рис. 1

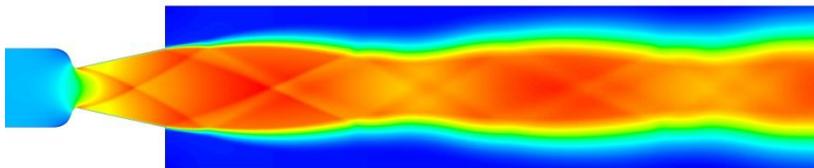


Рис. 1. Модель установившегося истечения в момент времени t для k - ϵ Standard, изображены контуры скорости

На Рис.2 показана валидация модели с экспериментом (с изменением палитры цветов в модуле CFD-Post) и наложенные графики зависимостей скорости от давления внутри сопла. Красный получен экспортом массива данных из ANSYS Fluent. Синий - посчитан по формуле (4) (для изотермического потока) [5], [6]. Видно довольно большое сходство, что говорит о корректности полученной модели.

$$u_e = \sqrt{\frac{T \cdot R}{M} \cdot \frac{2k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_e}{p} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (4)$$

где T – температура газа, К; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К); k – показатель адиабаты; M – молярная масса воздуха, г/моль.

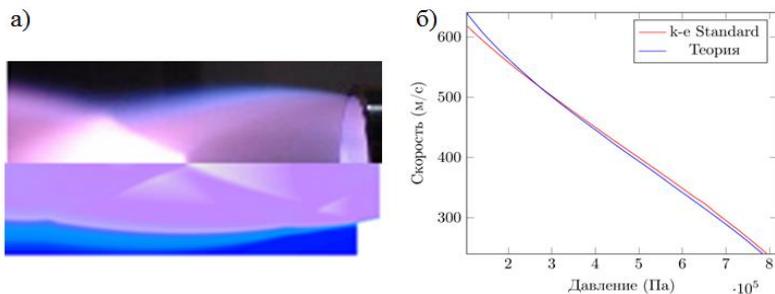


Рис. 2. Валидация модели (снизу) и эксперимента (сверху) (а); зависимость скорости от давления внутри сопла, полученная в программном продукте ANSYS и теоретически (б)

В итоге почти все результаты каждой из моделей турбулентности получились схожими на столько, что можно заключить: для решения данной задачи истечения газа из сопла Лавала можно выбрать одну из них. Для более наглядного сравнения результатов, графики, полученные в данной работе, были нанесены на один, что и продемонстрировано на Рис. 3. Более широкая валидация (3 экспериментальных образца) для подтверждения универсальности полученной модели истечения приведена на Рис.4

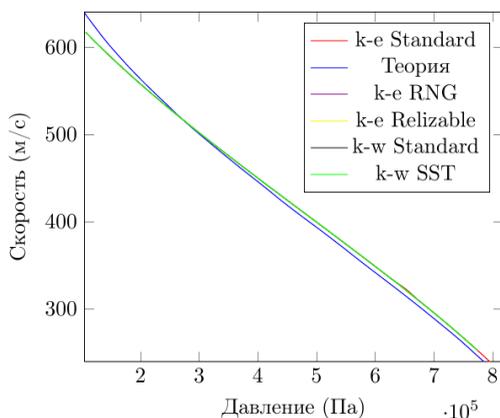


Рис. 3. Наложение всех результатов зависимостей скорости от давления для выбранных моделей турбулентностей и теоретического расчета



Рис. 4. Изображено наложение эксперимента и контуров ANSYS, с разными типами заливок, настроенными в модуле CFD-Post

Наверху эксперимент, внизу модель.

Заключение

Области применения результатов численного исследования не имеют привязки ни к параметрам, ни к геометрии; в таком случае достаточно задать размеры, входные, внешние настройки и необходимые параметры на выходе, чтобы получить рабочую модель и провести масштабирование для любых образцов систем, содержащих сопло Лавала. Это означает, что при планировании любой конструкции, в которой участвует сопло, можно получить параметры его работы, используя численные методы, в частности ANSYS Fluent.

Список литературы

1. В. А. Кудинов, Э. М. Карташев, А. Г. Коваленко, И. В. Кудинов: учебник и практикум для академического бакалавриата. 4-е издание. – 2014.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. *Гидродинамика*, Теоретическая физика, т. VI, 3-е изд., перераб //Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 2016. 266 с.
3. Столяров Е.П. Об истечении недорасширенных газовых струй навстречу сверхзвуковому потоку //Ученые записки ЦАГИ. – 1977. – Т. 8. – №. 2.
4. C.J. Clarke and B. Carswell *Principles of Astrophysical Fluid Dynamics* (1st ed.). 2014.
5. Tan D. H. et al. Influence of Laval nozzles on the air flow field in melt blowing apparatus //Chemical engineering science. – 2012. – Т. 80. – С. 342-348.

6. А. А. Дорофеев: Основы теории тепловых ракетных двигателей (Общая теория ракетных двигателей). МГТУ им. Н. Э. Баумана - 1999.

**APPLYING OF COMPUTER MODELING FOR SOLVING
THE PROBLEM OF GAS OUTFLOW FROM A NOZZLE FOR
DIFFERENT MODELS OF TURBULENCE**

Naplekov I.

Supervisor: D. Pashenko, c.t.s, Docent
(*Samara State Technical University, Samara*)

A two-dimensional model of the process of the ideal gas flow is drawn up, in order to obtain a universal picture verified with the results of the gas outflow from the nozzle, obtained experimentally. The results agree with the theoretical and experimental data, the universality of the expiration pattern was confirmed. The dependencies between the methods of closing the Navier-Stokes equation - the models of flow and the nature of the flow behavior are studied.

УДК 004.7

ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СЕТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Фролова К.А.

Научный руководитель: О.П. Валов, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Сейчас существует множество технологий безопасности системы, многие из которых решают одинаковые задачи и представляют собой лишь отдельный фрагмент более полных стратегических решений в данной области. В данной статье дается обзор основных технологий защиты корпоративной сети. DMZ, NAT, VPN, IDS - все это будет рассмотрено ниже.

Демилитаризованная зона (DMZ)

Демилитаризованная зона (Demilitarized Zone - DMZ) – технология обеспечения защиты информационной сети, при которой общедоступные серверы (E-MAIL, FTP, HTTP и др.) находятся в особом сегменте сети и ограничены в доступе к основным сегментам сети с помощью межсетевого экрана (МЭ).

Системы, открытые для прямого доступа из внешних сетей, являются главными целями злоумышленников и подвержены проявлению угроз. Чтобы это предотвратить необходимо ограничить доступ этих систем к оборудованию, расположенным внутри локальной сети.

Основная цель DMZ – это добавить дополнительный уровень безопасности в локальной сети, для минимизирования ущерба в случае атаки на один из общедоступных серверов.

DMZ-сети строятся с использованием коммутаторов и располагаются между двумя межсетевыми экранами или между межсетевым экраном и пограничным роутером. Размещение общедоступных серверов в сегменте DMZ позволяет межсетевым экранам служить дополнительными средствами для контроля прав доступа пользователей [1].

Рассмотрим вариант, когда DMZ строится с двумя межсетевыми экранами. (Рис. 1.) Один из МЭ контролирует соединения из внешней сети в DMZ, а второй – из DMZ во внутреннюю сеть. Такая организация сети позволяет обеспечивать защиту и управление доступом для общедоступных серверов, защищенных от внешних и внутренних атак.

Еще более высокий уровень безопасности можно обеспечить за счет двух МЭ разных производителей и различной архитектуры. Это уменьшает вероятность того, что оба устройства будут иметь одинаковую уязвимость. Недостатком данной архитектуры является высокая стоимость и повышается вероятность сбоев.

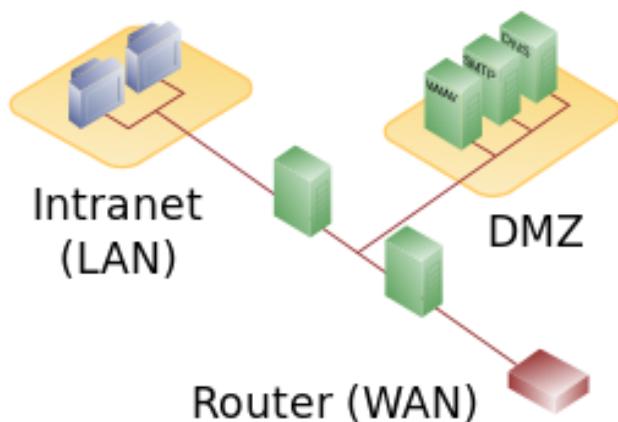


Рис. 1. DMZ с двумя межсетевыми экранами

Трансляция сетевых адресов (NAT)

Трансляция сетевых адресов (Network Address Translation - NAT) – механизм, который позволяет преобразовывать сетевые адреса. (Рис. 2.) Данная технология была разработана для решения двух проблем. [2]

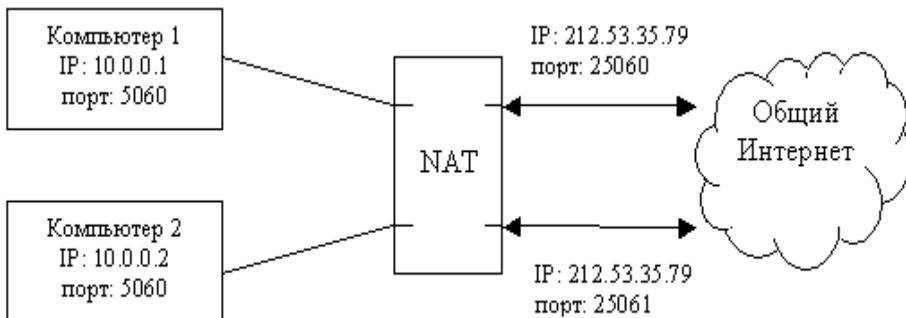


Рис. 2. Трансляция сетевых адресов

1) Для безопасности. NAT является эффективным средством для сокрытия схемы сетевой адресации позади межсетевых экранов и создания некоторого защитного барьера для проникновения внутрь сети.

2) Для решения проблемы исчерпания IPv4 адресов.

Приведем некоторую классификацию NAT:

1) Статический NAT.

2) Динамический NAT.

3) Трансляция портов (перегруженный NAT). Так же употребляется аббревиатура PAT.

При использовании статической трансляции сетевых адресов каждому внешнему адресу соответствует один единственный внутренний адрес. Данная технология используется крайне редко из-за недостатка IPv4 адресов. В таблице 1 приведен пример статической NAT.

Таблица 1

Пример статического NAT

Внешний (глобально доступный) адрес	Внутренний адрес
216.56.12.86	192.168.1.10
216.56.12.87	192.168.1.11
216.56.12.88	192.168.1.12

При динамической трансляции все системы внутренней сети разделяют некоторый внешний IP-адрес. Таким образом, все хосты позади межсетевого экрана будут выглядеть как один хост.

Трансляция портов. Работает почти также как динамический NAT, только PAT отображает несколько частных адресов в единственный публичный IP-адрес, используя различные порты.

Виртуальная частная сеть (VPN)

Виртуальной частной сетью (Virtual Private Network - VPN) называют объединение локальных сетей через Интернет в единую виртуальную сеть, которая обеспечивает защищенность передаваемых данных (Рис. 3.).

Безопасность информации основана на построении криптозащищенных туннелей (туннелей VPN). Каждый такой туннель является виртуальным соединением, созданное в Интернете, по которому передаются криптографически обезопасенные сообщения.

Данная технология может быть реализована на программном или аппаратном уровнях. [1] Существует несколько протоколов для создания VPN, принадлежащие канальному, сетевому и сеансовому уровням модели OSI:

- 1) Канальному уровню соответствуют: PPTP, L2F, L2TP.
- 2) Сетевому уровню соответствуют протоколы IPSec, SKIP.
- 3) Сеансовому уровню – SSL, SOCKS.

Для организации VPN-соединений между удаленными офисами часто используется протокол IPSec. IPSec (IP Security) – набор протоколов для обеспечения безопасности данных, передаваемых по протоколу IP. Позволяет поддерживать на уровне IP потоки безопасных и аутентичных данных между взаимодействующими устройствами. Основу протокола IPSec составляют три протокола:

- 1) AH (Authentication Header - заголовок аутентификации) – гарантирует целостность и аутентичность информации.
- 2) ESP (Encapsulating Security Payload – инкапсуляция зашифрованных данных) - шифрует передаваемую информацию, обеспечивая конфиденциальность.
- 3) IKE (Internet Key Exchange – обмен ключами Интернета) – представляет конечным точкам защищенного канала секретных

ключей, необходимых для работы протоколов аутентификации и шифрования данных.

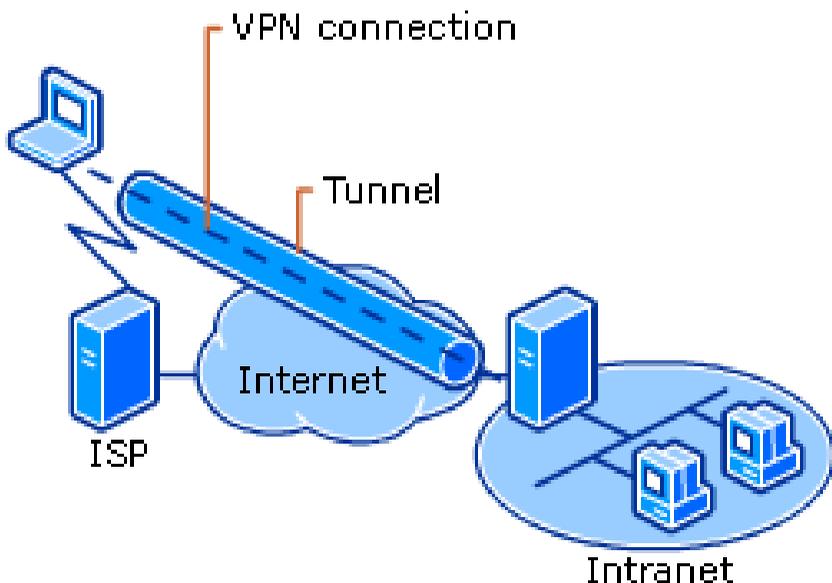


Рис. 3. Схема организации VPN

Система обнаружения вторжений (IDS)

Система обнаружения вторжений (Intrusion Detection System – IDS) – это программное или аппаратное средство для выявления и предотвращения вторжений. IDS используются для обнаружения неестественных действий в сети, которые могут нарушить защищенность и конфиденциальность данных. К такой аномальной активности относятся атаки, направленные на превышение привилегий, несанкционированный доступ к важным данным и иные вредоносные действия.

Обнаружение проникновения позволяет организациям защищать свои системы от угроз, которые связаны с возрастанием сетевой активности и важностью информационных систем.

У многих возникнет вопрос: «Почему следует использовать IDS, если уже имеются МЭ и другие средства защиты?»

Каждое средство защиты адресовано конкретной угрозе безопасности в системе и каждое средство защиты имеет слабые и сильные стороны. Только комбинируя их можно защититься от огромного количества атак. Межсетевые экраны являются «барьером», преграждая вход некоторым типам сетевого трафика. IDS в свою очередь наблюдает активность и принимает решение о том, являются ли наблюдаемые события подозрительными. Они могут обнаружить атакующих, которые смогли обойти межсетевые экраны. После обнаружения IDS может сообщить об этом администратору, который предпримет необходимые действия для предотвращения атаки.

Вывод

В эпоху информационных технологий все больше предприятий задумываются о безопасности своей сети. Каждая организация работает с данными, которые не должны попасть к третьим лицам. В связи с большим количеством атак на информационные системы с целью получения этих данных, либо же «по приколу», предприятиям необходимо защитить свою сеть/систему. В данной статье было рассмотрены основные методы защиты сети, такие как DMZ, NAT, VPN, IDS.

Список литературы

1. *Лапонина О.Р.*, Основы сетевой безопасности. – Москва, 2014.
2. *Гергель А.В.*, Компьютерные сети и сетевые технологии – Нижний Новгород, 2007.
3. *Валов О.П.* Информационные сети. Учебное пособие для студ. напр.654600-«Информатика и вычислительная техника» по дисциплине «Сети ЭВМ и телекоммуникации». Казань: Издательство КГТУ им. А.Н.Туполева, 2007г. 201с. ISBN 978-5-7579-0987-5.
4. *Эминов Б.Ф., Эминов Ф.И.* Проектирование корпоративных информационных сетей: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. 60 с. ISBN 978-5-7579-1391-9.

OF THE NETWORK OF THE ORGANIZATION

Frolova K.

Supervisor: O. Valov, candidate of technical sciences,
assistant professor

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

Now there are many security technologies of the system, many of which solve the same tasks and represent only a separate fragment of more complete strategic decisions in this area. This article provides overview of the main technologies for protecting the corporate network. DMZ, NAT, VPN, IDS - all this will be discussed below.

УДК 004.7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРИРОВАННОЙ КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ СИМУЛЯТОРА PACKET TRACER

Чобанюк Б.В.

Научный руководитель: О.П. Валов, к.т.н., доцент
*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Одним из средств, позволяющих повысить эффективность планирования расположения структурированной кабельной системы (СКС) предприятия являются новые информационные технологии обучения, которые основываются на моделировании сетей, которые позволяют студентам экспериментировать с поведением сети и оценивать возможные сценарии [2].

Инструментальные средства при проектировании СКС

Одним из инструментальных средств проектирования СКС является Packet Tracer компании Cisco. Packet Tracer – это удобный инструмент моделирования сетей передачи данных. В данном симуляторе также можно проектировать СКС[1].

На первых этапах создания СКС необходимо иметь информацию:

- элементы сетевого оборудования;
- планы этажей предприятия;
- стандартные требования СКС.

На рис. 1 представлен интерфейс «Physical», где происходит проектирование СКС.

ПОДСЕКЦИЯ 5.5. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

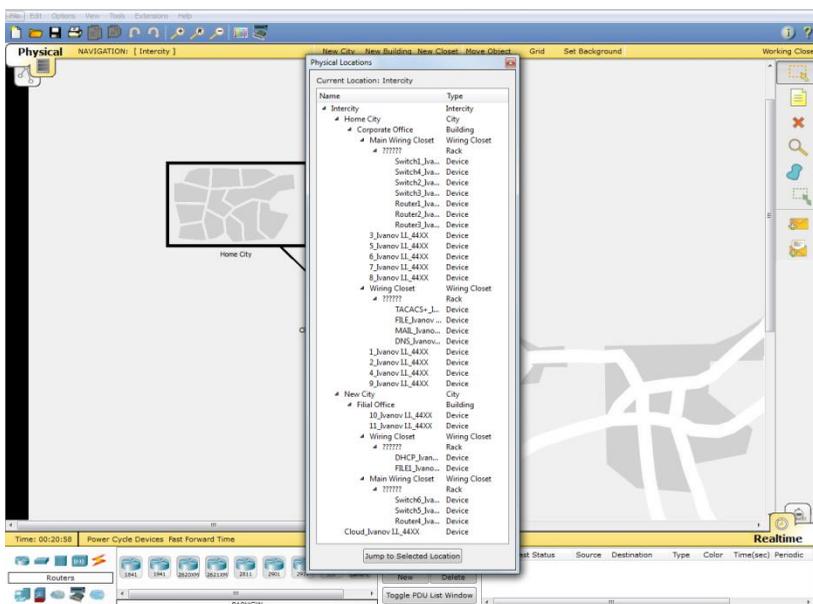


Рис. 1. Интерфейс «Physical»

Следующим этапом при проектировании СКС с помощью Rasket Tracer является создание новых городов. Предприятие может состоять из нескольких филиалов. Программа позволяет создавать множество городов. На рис. 2 представлен результат создания двух городов.

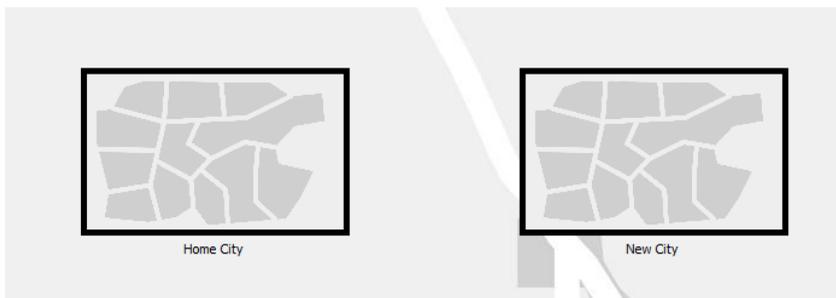


Рис. 2. Результат создания городов

В каждом городе также можно создать множество зданий. На рис. 3 представлен результат создания здания в городе.

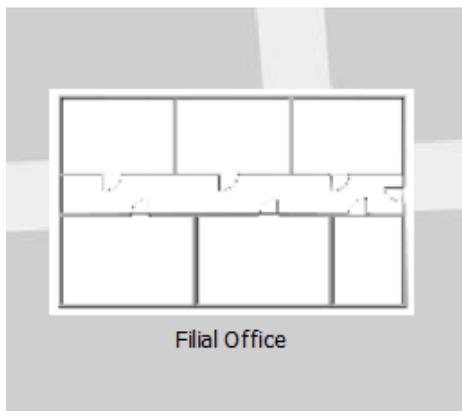


Рис. 3. Результат создания здания в городе

Необходимо разместить сетевое оборудование между офисами зданий разных городов. Так как на предприятии есть разные отделы, то и оборудование одного отдела должно находиться в одной комнате.

Также необходимо коммутационное и сетевое оборудование разместить по «стойкам», то есть коммутационное оборудование в одну стойку, сетевое – в другую.

Packet Tracer позволяет переходить к ортогональной метрике прокладки кабелей между оборудованием, чтобы показать, как будет выглядеть кабельная система.

На рис. 4 и рис. 5 представлены результаты проектирования СКС главного и удаленного офисов соответственно.

*ПОДСЕКЦИЯ 5.5. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ,
КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ*

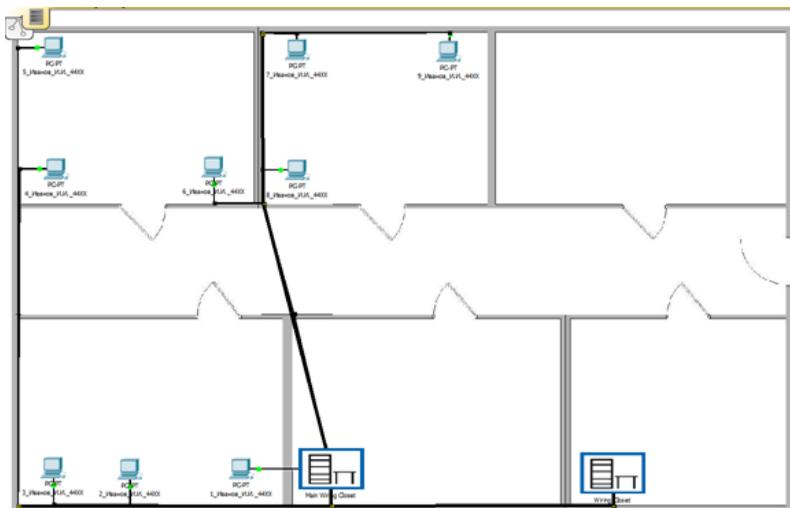


Рис. 4. Результат проектирования СКС главного офиса

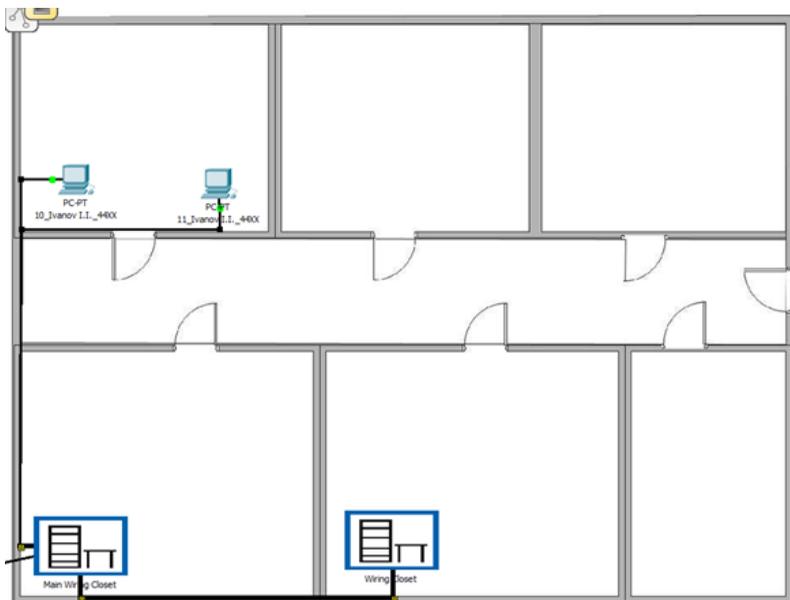


Рис. 5. Результат проектирования СКС удаленного офиса

Заключение

Таким образом, Cisco Packet Tracer позволяет быстро и удобно создавать СКС, чтобы повысить эффективность планирования расположения структурированной кабельной системы.

Список литературы

1. *Валов О.П.* Информационные сети. Учебное пособие для студ. напр.654600-«Информатика и вычислительная техника» по дисциплине «Сети ЭВМ и телекоммуникации». Казань: Издательство КГТУ им. А.Н.Туполева, 2007г.201с. ISBN 978-5-7579-0987-5.
2. *Эминов Б.Ф., Эминов Ф.И.* Проектирование корпоративных информационных сетей: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. 60 с. ISBN 978-5-7579-1391-9.

DESIGNING THE STRUCTURED CABLE SYSTEM WITH THE PACKET TRACER SIMULATOR

Chobaniuk B.

Supervisor: O. Valov, candidate of technical sciences,
assistant professor

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

One of the means to improve the efficiency of planning the location of the structured cabling system (SCS) of the enterprise is the new information technology training, which is based on the simulation of networks that allow students to experiment with the behavior of the network and evaluate possible scenarios.

УДК 004.65

ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛНЕНИЯ SQL-ЗАПРОСОВ К БАЗАМ ДАННЫХ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ MYSQL

Ямалева Г.Н.

Научный руководитель: М.Ю. Перухин, к.т.н.

*(Казанский национальный исследовательский технологический
университет, г. Казань)*

Обработка запроса к объемной базе данных может занимать значительное время. Ускорение данного процесса связывается с применением индексов. В работе представлены приемы обработки SQL-запросов с применением индексов.

Базы данных (БД) являются компонентой различных информационных систем. Для получения необходимой информации к ним составляются запросы по требуемым критериям. Работа с базами данных малых объемов может проходить быстро, но при больших их объемах время выполнения запросов может занимать значительное время и снизить производительность используемого продукта. Чтобы повысить производительность приложений, запросы можно оптимизировать с помощью индексов. Индексы представляют собой структуры, которые позволяют СУБД эффективно извлекать данные по критерию быстрodeйствия [1-3].

Рассмотрим приемы работы с индексами на примере СУБД MySQL. Индексы типа BTREE в MySQL позволяют быстро просматривать информацию, содержащуюся в своих префиксах и перебирать диапазоны отсортированных значений.

Интересным является вопрос, какие могут быть варианты у MySQL, если было создано два отдельных индекса? Первый способ заключается в использовании только одного индекса, чтобы отобрать подходящие строки и далее отфильтровать извлеченные данные, руководствуясь WHERE без применения индексов. Второй способ связан с получением указателей на строки от всех подходящих индексов и вычислением их пересечения, чтобы вернуть результирующие данные.

Лучший способ зависит от избирательности и корреляции индексов. Применение пересечения имеет смысл, если после отработки WHERE по первой колонке будет отобрано 5% строк, а по второй колонке – до 1% от общего количества. В ином случае, когда по второй колонке будет отфильтровано до 5%, то обычно значительно выгоднее использовать только первый индекс и отфильтровать ненужные строки после извлечения данных.

Создадим тестовую базу данных:

```
CREATE TABLE `idxtest` (  
  `i1` int(10) UNSIGNED NOT NULL,  
  `i2` int(10) UNSIGNED NOT NULL,  
  `val` varchar(40) DEFAULT NULL,  
  KEY `i1` (`i1`),  
  KEY `i2` (`i2`),  
  KEY `combined` (`i1`,`i2`)  
) ENGINE=MyISAM DEFAULT CHARSET=latin1
```

Сгенерируем базу таким образом, что каждая из колонок *i1* и *i2* будет отбирать около 1% строк в таблице. Число кортежей в общей сложности – 10 млн.

При выполнении запроса

```
SELECT avg(length(val)) FROM idxtest WHERE i1=50 AND i2=50;
```

был использован комбинированный индекс, и время исполнения запроса составило менее 10 мс.

Зададим оптимизатору ограничение по использованию комбинированного индекса и выполним запрос в следующем виде.

```
SELECT avg(length(val)) FROM idxtest IGNORE INDEX (combined) WHERE i1=50 AND i2=50;
```

MySQL использовал пересечение индексов, и время обработки запроса составило 70 мс., что в 7 раз дольше предыдущего примера.

Рассмотрим еще один вариант, когда будет использоваться только один индекс с последующей фильтрацией полученных данных:

```
SELECT avg(length(val)) FROM idxtest IGNORE INDEX (combined,i2) WHERE i1=50 AND i2=50;
```

Выполнение запроса заняло 290 мс., так как на этот раз СУБД пришлось пройти по большему числу строк.

Таким образом, вместо одного индекса предпочтительнее использовать пересечение индексов. Однако для рассмотренных случаев лучшие результаты по быстрдействию получены все же при использовании комбинированных индексов.

Список литературы

1. MySQL. Оптимизация производительности, 2-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2010. – 832 с.

2. *Гибадуллин Р.Ф., Савельев А.Г., Перухин М.Ю.* Ускорение обработки SQL-запросов к базам данных на GPU посредством аппаратно-программной платформы NVIDIA CUDA // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2016. – № 20. – С.110-116.

3. *Гибадуллин Р.Ф., Леонов А.Д., Перухин М.Ю.* Разделение пространственных данных для масштабируемой обработки запросов // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2017. – Т.20, №8. – С. 83-86.

PERFORMANCE OPTIMIZATION OF SQL-QUERIES TO DATABASES UNDER THE CONTROL OF DBMS MYSQL

Yamaleeva G.

Scientific adviser: M. Perukhin, PhD

(Kazan national research technological university, Kazan)

A large amount of database processing can take a long time. Acceleration of the process associated with the use of indexes. This paper presents some methods of SQL-queries processing by index using.

ПОДСЕКЦИЯ 5.6

ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.932

ПРОБЛЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ

Есенин В.С.

Научный руководитель: В.В. Мокшин, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе рассматриваются проблемы при формулировании и решении задач удовлетворения ограничений (Constraint Satisfaction Problem — CSP). Теоритическое их описание использование системы для получения корректных решений.

В настоящее время для решения многих практических задач искусственного интеллекта используются подход при котором задача формулируется в виде задачи удовлетворения ограничений (Constraint Satisfaction Problem — CSP). В работе рассматривается тип данных задач, методы корректного их описания, а так же описывается пример такого описания.

Формально говоря, любая задача удовлетворения ограничений (Constraint Satisfaction Problem— CSP) определена множеством переменных, X_1, X_2, \dots, X_n , и множеством ограничений, C_1, C_2, \dots, C_m . Каждая переменная X_i имеет непустую область определения D_i возможных значений. Каждое ограничение C_i включает некоторое подмножество переменных и задает допустимые комбинации значений для этого подмножества.

Состояние задачи определяется путем присваивания значений некоторым или всем этим переменным, $\{X_i = v_i, X_j = v_j, \dots\}$. Присваивание, которое не нарушает никаких ограничений, называется совместимым, или допустимым присваиванием. Полным называется такое присваивание, в котором участвует каждая переменная, а решением задачи CSP является полное присваивание, которое дозлетворяет всем ограничениям.

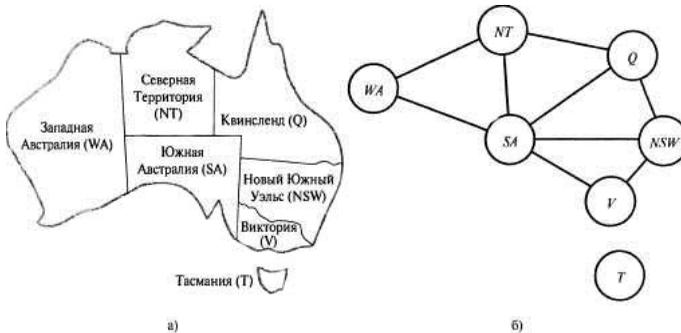


Рис. 1. Пример задачи удовлетворения ограничений. А — карта австралии с описанием зон. Б — модель карты австралии построенная для задачи удовлетворения ограничений

Рассмотрим как может выглядеть такая задача и как ее сформулировать. На рисунке 1 представлена наглядная иллюстрация задачи. Предположим, что мы размечаем карту Австралии, на которой показаны все ее штаты и территории, и что мы получили задание раскрасить каждый регион красный, зеленый или синий цвет таким способом, чтобы ни одна пара соседних регионов не имела одинаковый цвет. Чтобы сформулировать это задание в виде задачи CSP, определим в качестве переменных сокращенные обозначения этих регионов: WA, NT, Q, NSW, V, SA и T. Областью определения каждой переменной является множество цветов {red, green, blue}. Ограничения требуют, чтобы все пары соседних регионов имели разные цвета; например, допустимыми комбинациями для WA и NT являются следующие пары:

$\{\{red, green\}, \{red, blue\}, \{green, red\}, \{green, blue\}, \{blue, red\}, \{blue, green\}\}$

В данной задаче есть большое количество решений, однако нас устроит любое. Одним из примеров решения данной задачи является

$\{WA=red, NT=green, Q=red, NSW=green, V=red, SA=blue, T=red\}$

На рисунке 1б представлена графическая модель данной задачи. Она изображается графом, в котором вершины представляют собой переменные, а дуги – ограничения.

Запишем данную задачу в формальном виде. Множество переменных:

$X = \{WA, NT, Q, NSW, V, SA, T\}$

*ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ*

Область значений для всех переменных:

$D = \{ \text{red, green, blue} \}$

Множество ограничений:

$C = \{ \text{WA} \neq \text{NT}, \text{WA} \neq \text{NT}, \text{NT} \neq \text{SA}, \text{NT} \neq \text{Q}, \text{SA} \neq \text{Q}, \text{SA} \neq \text{NSW}, \text{SA} \neq \text{V}, \text{Q} \neq \text{NSW}, \text{NSW} \neq \text{V} \}$

Как мы видим, у T ограничений никаких нет. Такие ситуации тоже возможны и в данном случае, этой переменной можно присвоить любое значение.

В реальном мире очень часто встречаются задачи удовлетворения ограничений с непрерывными областями определения, и эти задачи интенсивно изучаются в области исследования операций. Например, для планирования экспериментов на космическом телескопе Хаббл требуется очень точная привязка наблюдений по времени; начало и конец каждого наблюдения и каждого маневра представляют собой переменные со значениями из непрерывной области определения, которые должны подчиняться всевозможным астрономическим ограничениям, ограничениям предшествования и ограничениям по мощности двигателей.

Кроме исследования типов переменных, которые могут присутствовать в задачах GSP, полезно заняться изучением типов ограничений. Простейшим типом ограничения является унарное ограничение, которое ограничивает значение единственной временной. Например, может оказаться, что жители штата Южная Австралия очень не любят зеленый цвет, $\{ \text{green} \}$.

Для решения подобных задач, существует ряд инструментов, один из них — система Minion. Она представляет собой консольное приложение, на вход которой подается файл с описанием проблемы на специальном языке, после чего на выходе будет получен результат. В зависимости от настроек результат может представлять из себя одно возможное решение, множество возможных решений, либо указание на то, что решение отсутствует.

По сравнению с остальными программными продуктами такого плана, Minion обладает наилучшими характеристиками в плане производительности и оптимизации. Богатый синтаксис встроенного языка позволяет описывать даже сложные задачи.

Опишем вышеприведенную задачу в данной системе. Опишем

переменные и их домены:

```
**VARIABLES**
```

```
DISCRETE s[7] {1..3}
```

Здесь мы используем массив для описания переменных, и числа от 1 до 3 для описания домена. Соответственно, `red` будет означать 1 и так далее.

Опишем ограничения:

```
**CONSTRAINTS**
```

```
ineq(s[0],s[1],-1)
```

```
ineq(s[0],s[1],-1)
```

```
ineq(s[1],s[5],-1)
```

```
ineq(s[1],s[2],-1)
```

```
ineq(s[5],s[2],-1)
```

```
ineq(s[5],s[3],-1)
```

```
ineq(s[5],s[4],-1)
```

```
ineq(s[2],s[3],-1)
```

```
ineq(s[3],s[4],-1)
```

Мы записали неравенства. Теперь можно запускать систему, на выходе получим лог вида:

```
# Minion Version 1.8
```

```
...
```

```
Sol: 1 2 1 2 1 3 1
```

```
Solution Number: 1
```

```
Time:0.000012
```

В логе будут представлены так же и остальные решения. Как мы видим, при правильной постановке задачи в виде задачи удовлетворения ограничений, с помощью описания, переменных, доменов и ограничений, накладываемых на них, можно достичь высокой эффективности при решении подобных задач.

Список литературы

1. Мокшин В.В., Сайфудинов И.Р., Киртичников А.П., Шарнин Л.М. Распознавание транспортных средств на основе эвристических данных и машинного обучения // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 5. С. 130-137.
2. Мокшин В.В., Киртичников А.П., Якимов И.М., Сайфуди-

нов И.Р. Определение транспортных средств на участках дорог классификатором Хаара и оператором LPB с применением AdaBoost и отсечением по дорожной разметке / Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 18. С. 148-155.

3. Мокшин В.В., Куртичников А.П., Шарнин Л.М. Отслеживание объектов в видеопотоке по значимым признакам на основе фильтрации частиц / Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 18. С. 297-303.

4. Мокшин В.В., Якимов И.М. Метод формирования модели анализа сложной системы / Информационные технологии. 2011. № 5. С. 46-51.

5. Мокшин В.В. Параллельный генетический алгоритм отбора значимых факторов, влияющих на эволюцию сложной системы / Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2009. № 3. С. 89-93.

6. Мокшин В.В., Якимов И.М., Юльметьев Р.М., Мокшин А.В. Рекурсивно-регрессионная самоорганизация моделей анализа и контроля сложных систем / Нелинейный мир. 2009. Т. 7. № 1. С. 66-76.

7. Якимов И.М., Куртичников А.П., Мокшин В.В., Мухутдинов Т.А. Обучение имитационному моделированию в пакете Simulink системы MatLAB / Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 5. С. 184-188.

DETECTION OF AN OBJECT ON THE FOREGROUND OF 3D SCENE

Esenin V.

Supervisor: V. Mokshin, Candidate of Technical Sciences,
assistant professor

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

The paper considers problems in formulating and solving constraint satisfaction problems (SCP). A theoretical description of the use of the system to obtain correct solutions.

УДК 004.932

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА НА ПЕРЕДНЕМ ПЛАНЕ СЦЕНЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Есенин В.С., Медведев М.В.

Научный руководитель: М.В. Медведев, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе рассматривается реализация системы детектирования объекта на переднем плане сцены видеонаблюдения путем реконструкции стереосцены и получения карты глубины. Для распознавания используется нейронная сеть обратного распространения ошибки.

В настоящее время для решения многих практических задач используются системы компьютерного зрения (системы видеонаблюдения, системы помощи водителю и другие). В работе рассматривается задача распознавания наличия объекта на переднем плане сцены видеонаблюдения.

При работе с двухмерным изображением часто представляется проблематичным отделение переднего плана от заднего, особенно это верно при условии, что задний план может быть динамичным и так же меняться. В данной работе рассмотрен подход к детектированию наличия объекта на переднем плане с использованием двух камер видеонаблюдения. В динамичных заранее не заданных условиях решение задачи детектирования объекта на переднем плане становится задачей не тривиальной [1-3].

Для решения данной задачи используются алгоритмы начальной калибровки камер, ректификации и поиска соответствий. Из алгоритмов поиска соответствий часто используются алгоритмы на основе разреза графа, на основе распространения доверия и на основе сопоставления блоков. В данной работе рассматривается система детектирования объекта на переднем плане, основанная на методе сопоставления блоков.

Для распознавания наличия объекта на переднем плане на основе данных, полученных после трехмерной реконструкции, может быть

ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

использована нейронная сеть. Для текущей задачи наиболее подходящей сетью будет нейронная сеть обратного распространения ошибки.

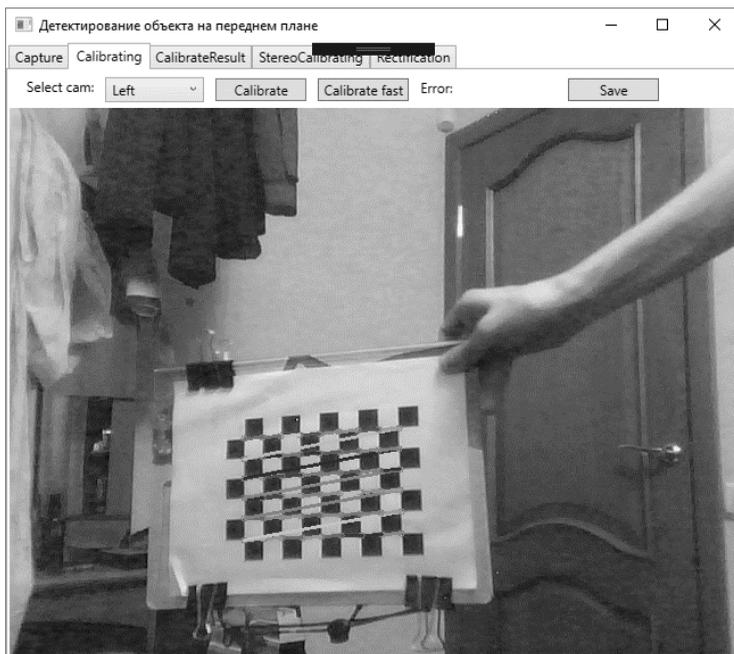


Рис. 1. Интерфейс приложения

Была разработана система, позволяющая детектировать наличие объекта на переднем плане с помощью двух веб-камер, образующих стереосистему. Интерфейс приложения представлен на рисунке 1. На нем представлен модуль, который демонстрирует процесс калибровки одиночной камеры. Алгоритм работы приложения разделен на несколько подзадач, решение которых представлено на вкладках приложения. В первой вкладке «Capture» выполняется настройка захвата изображений, выбираются камеры, есть возможность сохранить примеры изображений для дальнейшей калибровки.

Во вкладке «Calibrating» представлен процесс калибровки одиночной камеры, можно выбирать вид камеры, метод калибровки. После калибровки выводится информация об ошибке калибровки камеры.

Следующая вкладка «CalibrateResult» демонстрирует результат калибровки каждой из камер и позволяет скорректировать его.

После этого в секции «StereoCalibration» становится доступен интерфейс калибровки стереосистемы в целом, определяются отношения камер друг к другу в пространстве и их матрицы поворотов.

В следующей вкладке «Rectification» производится непосредственно ректификация и построение карты глубин. На рисунке 2 представлен данный интерфейс.

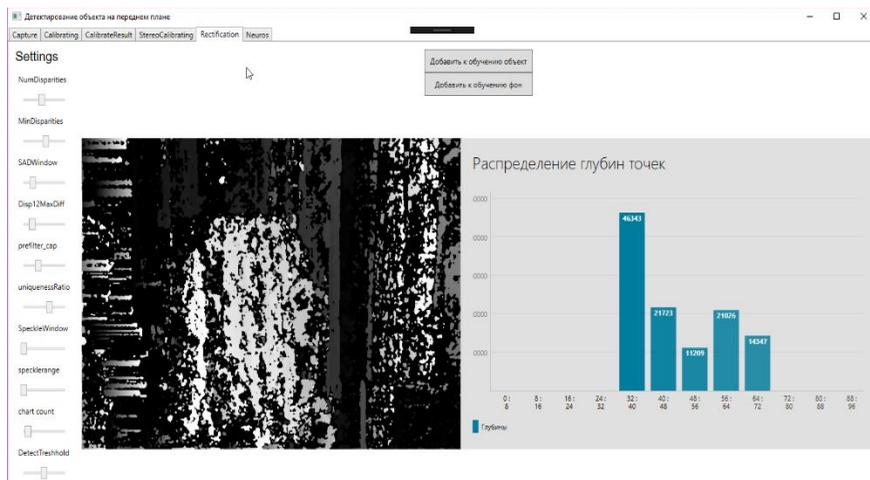


Рис. 2. Интерфейс построения карты глубины

Слева находятся настройки построения карты глубин. На рисунке уже подобраны оптимальные параметры, но для каждого случая они свои. По центру слева представлена непосредственно карта глубин. Чем ярче точка, тем ближе она располагается. Присутствуют помехи, тем не менее очертания реальных объектов можно разглядеть.

Справа по центру располагается график распределения глубин по интервалам. Данное распределение будет являться входным параметром для нейронной сети. На данном же экране присутствует возможность сформировать обучающую выборку. Для этого есть две кнопки. Одна добавляет текущее распределение глубин в выборку как фон, а другая как объект.

ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ



Рис. 3. Интерфейс использования нейронной сети

На рисунке 3 представлен интерфейс, который предоставляет доступ к нейронной сети. По центру расположена карта глубин, которая получается в реальном времени от стереосистемы видеонаблюдения. Справа отображаются входные данные для обучения, сформированные на предыдущем экране. Слева расположены две кнопки для использования нейронной сети. Одна обучает сеть на основе входных параметров, приведенных справа. Вторая запускает процесс распознавания текущих данных.



Рис. 4. Результат работы нейронной сети 0,79.
Система успешно детектирует объект



Рис. 5. Результат работы нейронной сети. С результатом 0,21 система успешно определяет отсутствие объекта

На рисунках 4-5 представлены результаты работы сети для фона и для объекта, который находится на переднем плане. На панели слева выводится результат. При результате выше 0,5, считается, что объект присутствует. Если ниже, то объект отсутствует и на сцене есть только фон.

Эксперименты показали, что система справляется с поставленной задачей и успешно определяет наличие или отсутствие объектов на переднем плане в случае обнаружения крупных объектов. Дальнейшие исследования будут направлены на повышение точности определения объектов малого размера.

Список литературы

1. *Scharstein D., Szeliski R.* A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms, *Int. Journ. of Computer Vision*, 2002, Vol. 47, no. 1–3, pp. 7–42.
2. *Hirschmuller H., Innocent P., Garibaldi J.* Real-time correlation-based stereo vision with reduced border errors, *Int. Journ. of Computer Vision*, 2002, Vol. 47, no. 1–3, pp. 229–246.
3. *Лукьяница А.А., Шишкин А.Г.* Цифровая обработка видео-изображений. – М.: ООО "Ай-Эс-Си Пресс", 2009.

DETECTION OF AN OBJECT ON THE FOREGROUND

OF 3D SCENE

Esenin V., Medvedev M.

Supervisor: Medvedev M., Candidate of Technical Sciences,
assistant professor

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

In the work we build a system of detection an object in front of video stereo scene, using reconstruction algorithms. Neural network is used for recognition of such situations.

УДК 004.942

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА САМОЛЕТА АВИАЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Матвеев Д.С.

Научные руководители: В.М. Деваев, к.т.н., В.В. Мокшин, к.т.н.
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Исследование связано с разработкой комплекса программных и аппаратных средств, который воспроизводит полет самолета, выдает предупреждения о критических явлениях в полете и указывает, как их преодолеть. Комплекс может быть полезен как для летчиков-испытателей, так и для конструкторов.

Цель работы состоит в создании информационного пилотажно-навигационного комплекса для легкого девятиместного пассажирского самолета.

Комплекс предназначен для наземной отработки алгоритмов управления самолетом в критических ситуациях полета. Он будет полезен летчикам при освоении новых самолетов, поскольку поможет научиться преодолевать критические явления, не выполняя настоящих полетов. Комплекс будет полезен и конструкторам, так как с его помощью можно будет выявить недостатки конструкции и систем управления самолетом.

Состав программной части ПНК:

1. FlightGear – программа-авиасимулятор версии не ниже 3.4.0;
2. Среда разработки для языка Python 3.5;
3. Библиотека Pygame;
4. Модуль вывода данных на МФД Integra TLE;
5. Программный сервер обработки данных PyAero, который:
 - 5.1. принимает текущее состояние от FlightGear по тому же протоколу (UDP), что и модуль вывода данных;
 - 5.2. принимает команды от органов управления самолетом;

*ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ*

5.3. отдает команды управления во FlightGear;

5.4. слушает модуль контроля состояния пилота и решает, включать ли ручное управление для перехода в автоматический режим с управлением от автопилота;

5.5. реализует функцию автопилота, включаемую пилотом или при обнаружении того, что пилот не в состоянии управлять самолетом;

5.6. прогнозирует критические ситуации;

5.7. обеспечивает ввод режимов полета, обнаруживает критические ситуации, обеспечивает авторизацию пилота;

6. Модель 9-местного самолета общего назначения для авиасимулятора FlightGear.

К аппаратному обеспечению комплекса относятся:

1. Компьютер с операционной системой Windows 7, 8, 10 или LINUX;

2. Органы управления самолетом (игровые штурвал, педали, рычаг управления двигателем); модуль контроля состояния пилота на основе нейрогаджета-электроэнцефалографа;

3. Многофункциональные дисплеи Integra TLE (МФД);

4. Преобразователь интерфейсов CAN-USB [1].

FlightGear – это программа-авиасимулятор, открытая для внесения дополнений. Последняя доступная версия программы – FlightGear 3.4.0. Эта программа позволяет воспроизводить полет самолетов и вертолетов. К информационному обеспечению программы относятся наборы файлов «FlightGear World Scenery» (описание аэродромов) и «FlightGear Aircraft» (модели летательных аппаратов). В базе данных программы содержатся трехмерные модели летательных аппаратов, их оборудования и измерительных приборов в формате AC3D; аэродинамические характеристики, координаты различных приборов, описание работы агрегатов самолета или вертолета и некоторые другие сведения в файлах формата xml.

Библиотека Pygame – это библиотека с открытым исходным кодом, в основе которой лежит язык программирования Python. Она предназначена для создания прикладных программ для работы с графическими изображениями, звуковыми записями, видеоизображениями.

Адаптер VScom USB-CAN предназначен для подключения компьютера к шине CAN через порт USB 2.0 или USB 1.1, имеет аппаратный контроль потока данных. Поддерживает стандарты CAN 2.0A и CAN 2.0B. Технология CAN (англ. Controller Area Network – сеть контроллеров) используется в сетях промышленных контроллеров, которые объединяют контроллеры в единую систему управления. Сеть объединяет ограниченное количество контроллеров, управляющих объектами технологического процесса. При выполнении функций управления между контроллерами сети обеспечивается обмен данными с различными скоростями [2].

Разработка комплекса предусматривала выполнение четырех основных задач.

Первая задача – выделить те критические ситуации, которые действительно могут возникнуть при управлении легким пассажирским самолетом. При разработке комплекса учитывались следующие ситуации: превышение взлетной массы, недостаточная дистанция разбега, недостаточная дистанция взлета, недостаточная дистанция прерванного взлета, неверное положение закрылков и некоторые другие.

Вторая задача – разработка прикладной программы RuAero. Она обеспечивает предупреждение экипажа о критических режимах и переход в автоматический режим полета при потере летчиком способности управлять самолетом. Программа RuAero написана на языке Python 3.5. Помимо предупреждения о критических ситуациях в полете, программа выдает предупреждения о переходе из одного режима полета к другому. Всего в базе данных программы описаны одиннадцать режимов: свободный режим, предполетная подготовка, взлет, набор скорости до отрыва передней стойки шасси, набор скорости отрыва, набор начальной высоты, набор начальной скорости, набор маршрутной скорости и высоты, общий режим полета, режим автопилота, режим «пилот без сознания» (критический режим полета). Порядок взаимодействия программы RuAero с авиасимулятором описан в особых конфигурационных файлах.

Третья задача – подготовка трехмерной модели нового самолета для авиасимулятора и размещение в информационной базе

ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

этой программы всех необходимых сведений о самолете. В качестве исходных данных использовались трехмерные модели и чертежи самолета и некоторых его агрегатов, выполненные с помощью программы Solid Works.

Программа Solid Works представляет собой довольно сложную среду трехмерного моделирования, в которой используется графический интерфейс Microsoft Windows. Она позволяет выполнить весь цикл моделирования: проектирование трехмерных деталей, сборку из отдельных деталей, выполнение сборочных чертежей и детализовки, а также представление моделей в реалистичном (визуализация) и динамичном (анимация) виде.

Модель самолета была доработана с помощью программ Blender и AC3D (Inivis). Blender – это программный пакет для создания трехмерных графических изображений, который включает в себя средства моделирования, анимации, визуализации, обработки видеоизображений, а также создания интерактивных игр. AC3D (AC – сокр. от англ. Automatic Configuration script – сценарий автоматического выбора состава программного обеспечения) – это программа для трехмерного моделирования и проектирования. Для преобразований модели и переноса ее из одной программы в другую использовали различные промежуточные форматы (STL, DXF, Standford).

После доработки модели добавили в базу данных программы FlightGear файлы формата xml с описанием аэродинамических характеристик, работы агрегатов и со списками необходимого авиационного оборудования.

Четвертой задачей стало уточнение требований к программному обеспечению комплекса и его испытания.

Испытания комплекса позволили выявить все недостатки в программном обеспечении и доработать его. Были

Итак, был разработан сложный программный комплекс, который позволяет отработать управление самолетом в критических ситуациях полета. Благодаря полученному опыту, в дальнейшем, будет значительно проще создавать такие же комплексы и для других летательных аппаратов, если это потребуется.

Список литературы

1. Макет интеллектуального пилотажно-навигационного комплекса (ИПНК) 9-местного самолета авиации общего назначения. Отчет.
2. *Ф. И. Эминов*. Офисные и промышленные информационные сети. – Казань: Мастер Лайн, 2016, – 346 с.
3. *В. В. Мокшин, И. М. Якимов*. Модели и методы исследования многопараметрических систем. – Казань: Изд-во МОиН РТ, 2012. – 200 с.
4. *Мокшин В.В., Якимов И.М.* Метод формирования модели анализа сложной системы / Информационные технологии. 2011. № 5. С. 46-51.
5. *Якимов И.М., Абзалова Л.Р., Курпичников А.П., Мокшин В.В.* Краткий обзор графических редакторов структурных моделей сложных систем / Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 17. С. 213-221.
6. *Якимов И.М., Курпичников А.П., Мокшин В.В., Мухутдинов Т.А.* Обучение имитационному моделированию в пакете Simulink системы MatLab / Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 5. С. 184-188.
7. *Мокшин В.В., Якимов И.М., Юльметьев Р.М., Мокшин А.В.* Рекурсивно-регрессионная самоорганизация моделей анализа и контроля сложных систем / Нелинейный мир. 2009. Т. 7. № 1. С. 66-76.

GENERAL-PURPOSE AIRCRAFT FLYING NAVIGATION COMPLEX SOFTWARE

Matveyev D.

Supervisors: V. Devayev, Candidate of engineering,
V. Mokshin, Candidate of engineering
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

*ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ*

This research deals with the development of a software and hardware complex, that imitates an aircraft flight, making signals on any critical condition and prompts to help any user with getting them over. This complex is of rather benefit as to test pilots as to aircraft engineers.

УДК 004.896

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ MATHBRIDGE

Павлов А.Д.

Научный руководитель: И.Х. Галеев, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье рассматриваются вопросы интеграции адаптивной модели обучения реализованной в инструментальных средствах МОНАП в интеллектуальной среде дистанционного обучения MathBridge.

Одним из ключевых факторов успешного развития экономик стран мира, в том числе и России, является инновационная образовательная система, с использованием которой можно осуществлять эффективную подготовку и переподготовку специалистов.

Существенно увеличить эффективность обучения можно с помощью электронных средств обучения. Наиболее перспективными из них являются интеллектуальные обучающие системы (ИОС), способные адаптивно подбирать обучающий и тестирующий материал в зависимости от текущей компетенции обучаемого [1]. Хорошо известными инструментальными средствами, с помощью которых можно проектировать ИОС, и нашедшими практическое применение, как в Российской Федерации, так и в Европейском Союзе являются МОНАП [2] и MathBridge [3].

MathBridge – это общедоступная обучающая среда, основанная на технологиях веб, которая позволяет динамически генерировать интерактивные (математические) задачи, адаптированные под конкретные цели студента, его предпочтения, способности и знания. Содержимое курса обучения представлено в семантическом формате, основой которого является формат xml. Соответствующее содержание извлекается из базы знаний и для каждого пользователя индивидуально согласно педагогическим правилам генерируется курс обучения. Вслед за гене-

ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

рацией, курс обучения демонстрируется пользователю через стандартный веб-браузер [4–6]. Одной из отличительных особенностей MathBridge является интеграция автономных математических сервисов (например, таких как GeoGebra). Данная технология предлагает средства для познавательного обучения, по-настоящему сложные упражнения, а также обучение методам доказательств.

Недостатком инструментальных средств MathBridge является недостаточная адаптивность к ходу обучения. Адаптационные механизмы МОНАП являются более универсальными и автоматизированными, что сказывается на общей эффективности обучения [7,8]. С другой стороны, MathBridge содержит подсистему «решателя» – которая позволяет выдавать промежуточные ответы на сложные математические задачи, а также содержит больше функциональных возможностей для визуализации процесса обучения.

Для устранения вышеописанных недостатков и предоставления преподавателю больше гибкости при создании учебных курсов инструментальные средства МОНАП интегрируются в систему MathBridge.

В качестве платформы для веб-технологий интегрированной среды МОНАП выбрана ASP.NET и активно развиваемый корпорацией Microsoft объектно-ориентированный язык программирования C#.

На рисунке 1 представлен оригинальный интерфейс системы MathBridge.

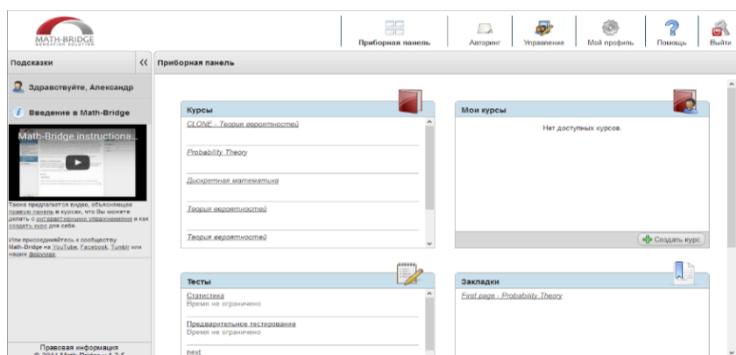


Рис. 1. Оригинальный интерфейс системы MathBridge

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ)»

На рисунке 2 представлена модифицированная версия Math-Bridge со ссылкой (выделена красным овалом) на ИОС «Геометрия», спроектированную с помощью сервисов МОНАП.

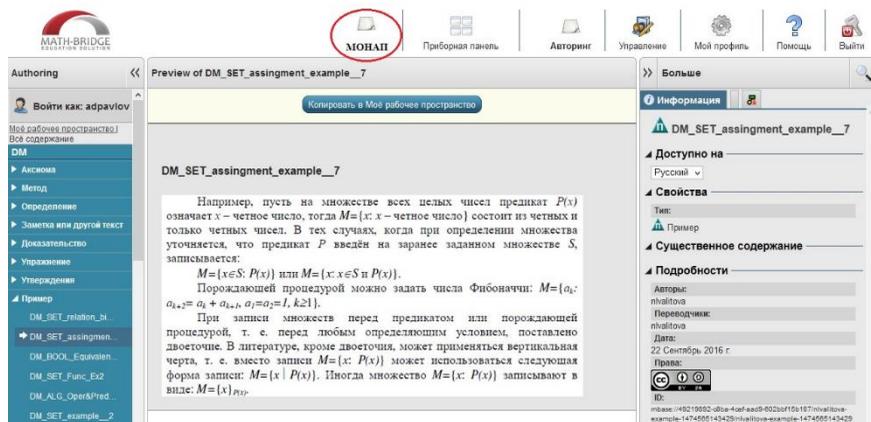


Рис. 2. MathBaridge со ссылкой на подсистему МОНАП

При переходе по выделенной ссылке происходит переход в подсистему МОНАП. Данная версия содержит тестовый вариант ИОС «Геометрия», содержащий основные функциональные элементы оригинальных инструментальных средств серии МОНАП.

На рисунке 3 показан интерфейс веб-версии ИОС «Геометрия».

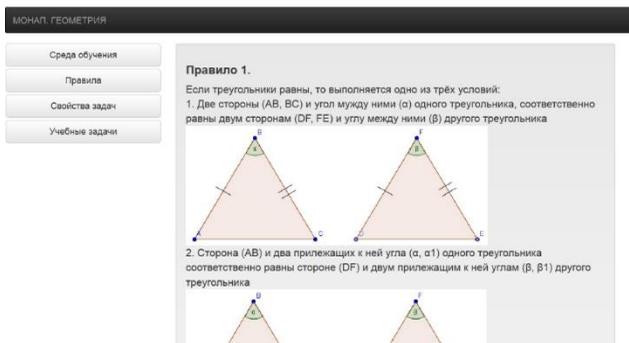


Рис. 3. ИОС «Геометрия», спроектированная с помощью веб-версии инструментальных средств МОНАП

ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Различные вариации инструментальных средств обеспечивают максимальную гибкость для преподавателя-разработчика курсов при проектировании учебных материалов. Система MathBridge оснащена решателем математических задач и богатыми средствами для визуализации процесса обучения в то время как инструментальные средства МОНАП позволяют создавать адаптивные ИОС, «подстраивающиеся» под текущие компетенции обучаемого. Использование наиболее подходящей для текущей учебной задачи системы обеспечивает наибольшую эффективность при создании курсов по различным учебным дисциплинам.

Список литературы

1. *Галеев И.Х.* Модели и методы построения автоматизированных обучающих систем (обзор) // Информатика. Научно-технический сборник. Серия Кадровое обеспечение. Выпуск 1. - М.: ВМНУЦ ВТИ, 1990. - С.64-72.

2. *Галеев И.Х., Чепегин В.И., Сосновский С.А.* МОНАП-II – авторские средства проектирования интеллектуальных обучающих систем // Управляющие системы и машины, № 3-4. 2002 г. – С. 80-86. - ISSN 0130-5395.

3. *Сосновский С.А., Гиренко А.Ф., Галеев И.Х.* Информатизация математический компоненты инженерного, технического и естественнонаучного обучения в рамках проекта MetaMath // Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)" - 2014. - V.17. - №4. - С.446-457. - ISSN 1436-4522. URL: <http://ifets.ieee.org/russian/periodical/journal.html>

4. *Захарова И.В., Кузенков О.А.* Опыт реализаций требований образовательных и профессиональных стандартов в области ИКТ в Российском образовании // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. Т. 12. № 3-1. С.17-31.

5. *Медведева С.Н.* Разработка интерактивных электронных образовательных ресурсов для e-learning. // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Новые технологии, материалы и оборудование российской аэрокосмической отрасли» АКТО-2016 10-11 августа 2016 г. – С. 977-980

6. Новикова С.В., Валитова Н.Л., Кремлева Э.Ш. Особенности создания учебных объектов в интеллектуальной системе обучения математике Math-Bridge // Международный электронный журнал "Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)" -2016. V. 19. № С. 451-462. URL: <http://ifets.ieee.org/russian/periodical/journal.html>

7. Галеев И.Х. Развитие адаптивных технологий обучения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: проблемы высшего образования. Воронежский государственный университет. -2004. - №2.- С. 76-83.

8. Galeev I., Sosnovsky S., Chepegin V. MONAP-II: the analysis of quality of the learning process model // in Valery Petrushin, Piet Kommers, Kinshuk and IldarGaleev (ed): Proceedings of IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'2002), Kazan, Tatarstan, Russia, September 9-12, 2002, pp. 116-120.

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE ADAPTIVE
INTEGRATED MODEL OF TRAINING
IN THE INTELLECTUAL INSTRUMENTAL MEDIA
OF REMOTE TRAINING MATHBRIDGE**

Pavlov A.

Supervisor: I. Galeev, Candidate of Technical Sciences,
assistant professor

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

The article deals with the integration of the adaptive learning model implemented in the MONAP toolkit in the intelligent distance-learning environment of MathBridge.

УДК 519.248

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ОБУЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЮ В СРЕДЕ SIMUL8

Павлов А.Д.

Научный руководитель: И.М. Якимов, к.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Приведено описание системы имитационного моделирования Simul8. Приводятся структурные модели двух однофазных систем массового обслуживания: М/М/1 и М/М/5, результаты их имитационного и аналитического моделирования и сравнения результатов между собой.

Успех современных коммерческих предприятий, правительственных агентств, и в целом любого предприятия состоит в построении конкурентоспособной организации. Количественную и качественную оценку и выбор наиболее подходящего решения для организации бизнес-процесса может обеспечить применение систем имитационного моделирования (СИМ). Одной из современных и развивающейся СИМ является СИМ Simul8 [1], которая имеет широкий спектр моделирования различных процессов. СИМ Simul8 позволяет строить модели промышленных и коммерческих систем, анализировать, документировать и проектировать не только основные этапы бизнес-процессов, но и их отдельные компоненты. Возможно применение моделирующих возможностей СИМ для моделирования деятельности сети Интернет, а также для обучения моделированию в таких системах как МОНАП [2,3].

Первая версия СИМ Simul8 была разработана одноименной корпорацией в начале 2003 года. В настоящее время продолжается активная развитие Simul8, последняя версия разработана в 2017 году. СИМ Simul8 Может использоваться в широкой предметной области в таких сферах как информационные системы, Производственные процессы, медицинское страхование. Среди клиентов Simul8 есть такие корпорации как Chrysler, General Motors, NASA и другие.

СИМ Simul8 имеет сходство с такими СИМ как Simulink и AnyLogic – в них детально указываются маршруты движения пакетов и процессы их «обслуживания» в функциональных блоках путем задания их параметров [4,5]. Для начала моделирования достаточно построить структурную схему процесса и задать необходимые параметры функциональных блоков. В таблице 1 приведено краткое описание основных блоков СИМ Simul8.

Таблица 1

Основные функциональные блоки СИМ Simul8

№	Наименование	Пояснение	Нотация
1	Start point	Точка входа заявок в систему. Настройки позволяют установить время поступления заявок, приоритет, расписание и т.д.	
2	Queue	Помещает поступающие заявки в очередь по заданным параметрам: FIFO, LIFO, приоритету, доступности ресурса и т.д.	
3	Activity	Задерживает заявки в системе, моделируя деятельность. Задержка происходит по закону, заданному пользователем.	
4	End	Служит для вывода заявок из модели и регистрирует параметры: среднее время и стандартное отклонение пребывания заявки в системе и другие.	
5	Resource	Имитирует различные ресурсы имитационной модели: работники, технические средства, заказы и т.д. Устанавливает приоритет ресурсов.	
6	Clock	Обеспечивает соблюдение заданного расписания для событий и контролирует процесс имитации по количеству времени, по значению атрибутов и т.п.	

Таблица 1 иллюстрирует только базовые компоненты СИМ Simul8. Система предоставляет и другие функциональные блоки для моделирования более сложных процессов: конвейер (Conveyor), загрузчик (Loader) и т.п. Возможно применение и встроенного скриптового языка программирования Visual Logic. Для улучшения визуализации компо-

*ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ*

ненты могут менять внешний вид, доступна простая анимация, возможна вставка внешних картинок.

На рис.1 – рис.2 приведены структурные модели систем массового обслуживания (СМО) М/М/1, М/М/5.

Для СМО М/М/1 (рис. 1) время между поступлением заявок распределено по экспоненциальному закону со средним значением 10. Время обслуживания также распределено по экспоненциальному закону со средним значением 6. Ограничений по длине очереди нет.



Рис. 1. Структурная модель СМО М/М/1 в СИМ Simul8

Для СМО М/М/5 время между поступлением заявок распределено по экспоненциальному закону со средним значением 10. Время обслуживания распределено по экспоненциальному закону со средним значением 30. СМО М/М/5 не содержит ограничений на длину очереди.

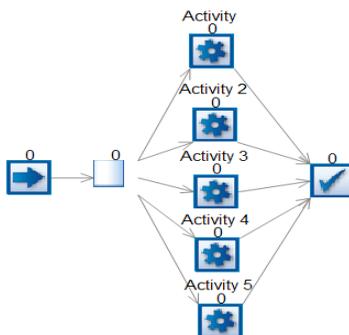


Рис. 2. Структурная модель СМО М/М/5 в СИМ Simul8

Результаты имитационного моделирования (ИМ) СМО М/М/1 и М/М/5 при количестве реализаций – 10000 заявок приведены в Таблице 2. Оценка качества результатов ИМ проведена по результатам аналитического моделирования (АМ) этих СМО, проведённом по формулам, заимствованным из [6].

Таблица 2

Результаты АМ и ИМ СМО М/М/1 и М/М/5

№	Код	Наименование	Результаты моделирования М/М/1				
			АМ	ИМ	Крит. Стьюдента	Станд. отклонение	Разница в %
1	\bar{l}	Среднее кол-во заявок в очереди	0.9	0.883	3.469	0.058	1.889
2	\bar{m}	Среднее кол-во заявок в ОА	0.6	0.602	2.789	0.008	0.333
3	\bar{k}	Среднее кол-во заявок в системе	1.5	1.506	2.919	0.063	0.400
4	$\bar{t}_{ожид}$	Среднее время ожидания заявок в очереди	9.0	8.991	3.657	0.139	0.111
5	$\bar{t}_{обсл}$	Среднее время задержки заявок в ОА	6.0	6.030	2.273	0.054	0.500
6	$\bar{t}_{преб}$	Среднее время пребывания заявок в системе	15.0	15.25	1.987	0.448	1.667
Среднее значение разницы в процентах по шести показателям							0.82
№	Код	Наименование	Результаты моделирования М/М/5				
			АМ	ИМ	Крит. Стьюдента	Станд. отклонение	Разница в %
1	\bar{l}	Среднее кол-во заявок в очереди	0.354	0.360	2.223	0.062	1.695
2	\bar{m}	Среднее кол-во заявок в ОА	3.000	3.001	2.458	0.012	0.033
3	\bar{k}	Среднее кол-во заявок в системе	3.354	3.361	2.919	0.049	0.209
4	$\bar{t}_{ожид}$	Среднее время ожидания заявок в очереди	3.542	3.601	2.596	0.526	1.666
5	$\bar{t}_{обсл}$	Среднее время задержки заявок в ОА	30.000	29.944	-2.273	0.054	0.186
6	$\bar{t}_{преб}$	Среднее время пребывания заявок в системе	33.542	33.545	-2.732	0.312	0.010
Среднее значение разницы в процентах по шести показателям							0.633

По данным, приведённым в таблице 2, констатируем что в СИМ Simul8 получены вполне приемлемые результаты имитационного моделирования.

К достоинствам СИМ Simul8 можно отнести следующее:

1. Система проста для усвоения за счет подробного руководства и дружественного интерфейса.

*ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ*

2. Наличие демоверсии (недоступна в прямом доступе, предоставляется по запросу пользователя).

3. Высокая достоверность результатов моделирования.

К недостаткам СИМ Simul8 относится:

1. Сложность приобретения демоверсии.

2. Отсутствие стандартных средств регистрации стандартных отклонений количественных и временных параметров объекта моделирования.

3. Отсутствие русифицированной версии и описания на русском языке.

Список литературы

1. Электронный ресурс. URL: www.simul8.com

2. Герасимов Н.В., Павлов А.Д. Проектирование обучающей среды инструментальными средствами серии МОНАП. // Международная молодежная научная конференция «XXII Туполевские чтения», КНИТУ-КАИ им. АН. Туполева. 2015. С. 218-223.

3. Эминов Ф.И. Сетевые технологии. // Казань: Издательство «ДАС», 2002. 50 с.

4. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокшин В.В. Моделирование сложных систем в имитационной среде ANYLOGIC. // Вестник Казан. технол. ун-та, 2014. Т. 17, №13 . С. 352-3575.

5. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокшин В. В., Мухутдинов Т.А. Обучение имитационному моделированию в пакете Simulink системы MATLAB. // Вестник Казан. технол. ун-та, 2015. Т. 18, №5. С. 184-188.

6. А.П. Кирпичников. Методы прикладной теории массового обслуживания. // Казань, Издательство КГУ, 2011, 200 с.

**SIMULATION OF QUEUEING SYSTEMS AND TRAINING
MODELLING IN SIMUL8 ENVIRONMENT**

Pavlov A.

Supervisor: I. Yakimov, Candidate of Technical Sciences, professor
(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

This paper describes a system simulation Simul8. Given the structural model of two-phase queueing systems: $m/M/1$, $m/M/5$, the results of their simulation and analytical modeling and comparison of results among themselves.

УДК 519.2

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ОПТОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цветкова А.В., Давлетшина Л.А.

Научный руководитель: И.К. Будникова, канд. техн. наук, доцент
(Казанский государственный энергетический
университет, г. Казань)

Проводится анализ изменения структуры оптового рынка за последние девять лет. Основным из главных направлений на оптовом рынке электроэнергии является создание конкурентных преимуществ акционерного общества. Это позволяет разработать новую модель рынка.

Сегодня оптовый рынок электроэнергии России занимает первое место в Европе по объему торгов электроэнергией, а существующая модель рынка максимально приближена к целевой. Однако существует ряд проблем, которые необходимо устранить. Решаются проблемы:

- искажения ценовых сигналов путем устранения регулируемого и свободного секторов;
- небаланса регулируемого сектора;
- зависимости участников рынка от системы регулирования.

В настоящее время на территории Российской Федерации действует двухуровневый рынок электроэнергии и мощности (ОР-ЭМ). На оптовом рынке продавцами и покупателями являются генерирующие компании, операторы экспорта/импорта электроэнергии, сбытовые организации, сетевые компании (в части приобретения электроэнергии для покрытия потерь при передаче), крупные потребители. Субъекты оптового рынка могут выступать в роли, как продавцов, так и покупателей электроэнергии и мощности. В существующем в настоящее время виде ОРЭМ функционирует с 1 сентября 2006 года, когда постановлением Правительства Российской Федерации были введены новые правила функционирования ОРЭМ.

Суть преобразований, происходящих с рынком электроэнергии с 2006 года, заключается в переходе к новой модели оптового рынка электроэнергии, которая, как полагают, в течение нескольких лет позволит достичь целевой структуры полностью конкурентного оптового рынка [1].

Основной задачей оптового рынка является обеспечение баланса производства, и потребления электроэнергии в объеме фактического спроса в каждый момент времени.

Продажа электроэнергии на ОРЭМ осуществляется по трем секторам:

- Регулируемые договора (РД).
- Рынок на сутки вперед (РСВ).
- Балансирующий рынок (БР).

В настоящее время продажа электроэнергии по регулируемым договорам осуществляется только для населения. Основной объем продаж приходится на сектор – рынок на сутки вперед, который формируется в результате конкурентного отбора ценовых заявок поставщиков и покупателей за сутки до реальной поставки.

В секторе РСВ торговля электроэнергией происходит по цене, которая устанавливается под влиянием спроса и предложения.

Балансирующий рынок представляет собой рынок отклонений фактического почасового производства и потребления электроэнергии от планового графика и предназначен для обеспечения балансового производства и потребления в реальном времени.

АО «Татэнерго» – одно из крупнейших региональных генерирующих компаний Российской Федерации. Основным видом деятельности общества является производство электрической и тепловой энергии на электростанциях АО «Татэнерго», включенных в единую энергетическую систему. Общество с 2008 года является субъектом оптового рынка электрической энергии и мощности и осуществляет поставку электрической энергии и мощности более 250 контрагентам на территории Российской Федерации. [2].

В работе исследуется траектория изменения оперативных показателей оптового рынка электрической энергии по основным секторам:

*ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ*

- объем электроэнергии, поставляемый на ОРЭМ по регулируемым договорам, % (РД);

- объем электроэнергии, поставляемый на ОРЭМ "на сутки вперед", % (РСВ).

- объем электроэнергии, поставляемый на ОРЭМ балансирующим рынком, % (БР).

На начальном этапе перехода АО «Татэнерго» на оптовый рынок соотношение между тремя видами секторов, показывает, что существенную долю занимает сектор РД. Цены по регулируемым договорам устанавливаются и рассчитываются государством. Соотношение между основными секторами ОРЭМ представлено на рис.1.

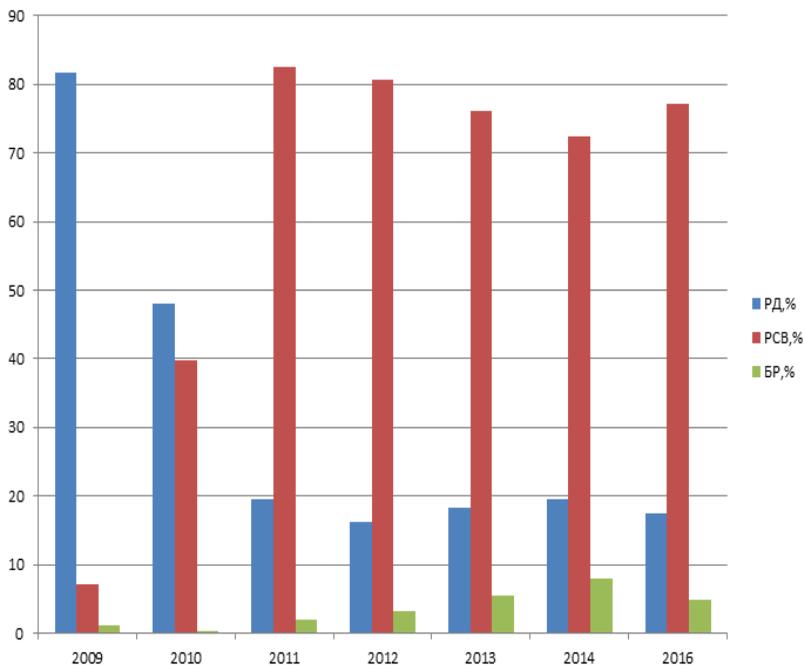


Рис. 1. Динамика изменения РД, РСВ и БР с 2009 - 2016

В 2010 году устанавливается примерный баланс между секторами РД и РСВ на ОРЭМ, после чего ситуация коренным

образом изменяется. Происходит резкий подъем объема электроэнергии, поставляемый на ОРЭМ "на сутки вперед" (РСВ).

На рис. 2 представлена структура ОРЭМ по объемам электроэнергии поставляемой по регулируемым, балансирующим и свободным договорам в течении 2016 года.

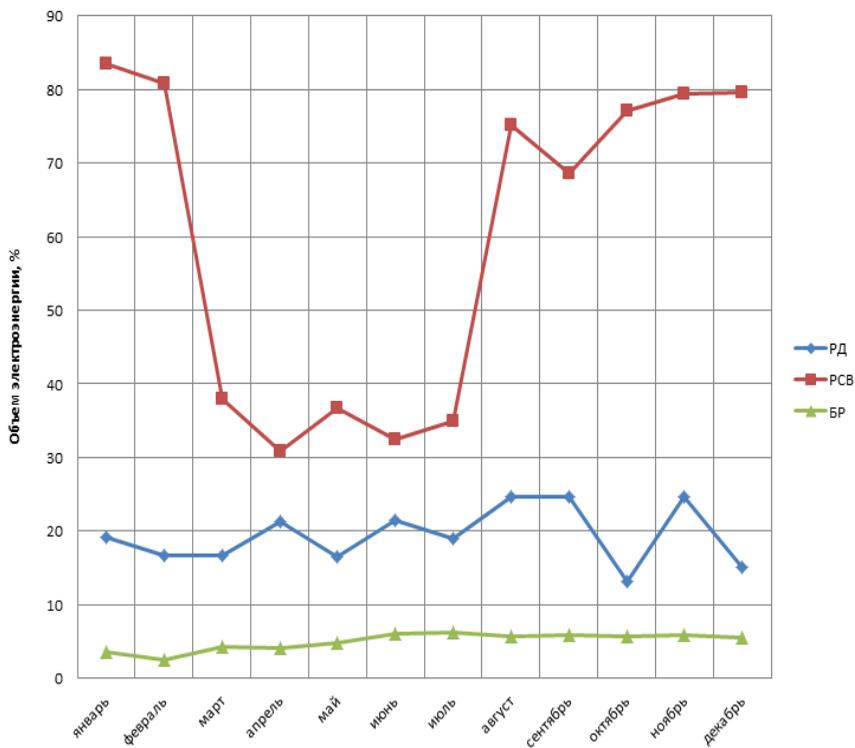


Рис. 2. Динамика изменения РД, БР и РСВ с января по декабрь за 2016

По сравнению с результатами представленными на рис. 1 имеем противоположную картину, которая демонстрирует существенное уменьшение сектора регулируемых договоров.

ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

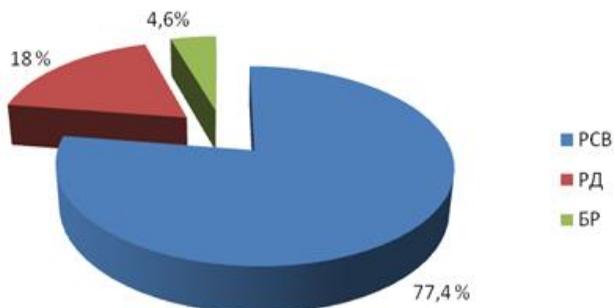


Рис. 3. Структура рынка по состоянию на 1-й квартал 2017 года

Исходя из данных, представленных на диаграмме (рис.3), можно отметить, что на 1-й квартал 2017 года более 70% оптового рынка электроэнергии приходится на сектор РСВ.

Таким образом, устанавливается новая модель функционирования оптового рынка электроэнергии.

В последствии будут сформированы: рынок системных услуг, рынок торговли правами на использование пропускной способности электрической сети и рынок производных финансовых инструментов.

Динамика изменения структуры на ОРЭМ в переходный период формирования оптового рынка свидетельствует о развитии полноценной конкуренции, повышении надежности энергосистемы и создании условий для притока инвестиций в электроэнергетику.

Список литературы

1. Мохов В.Г., Демьяненко Т.С. Прогнозирование потребления электрической энергии на оптовом рынке электроэнергии и мощности. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. - 2014.- №2.- С. 86-91.

2. Официальный сайт АО «Татэнерго»
<http://www.tatgencom.ru/>

**DYNAMICS OF CHANGES IN DEVELOPMENT
OF THE WHOLESALE ELECTRICITY MARKET**

Tsvetkov A., Davletshina L.

Scientific adviser: I. Budnikova, cand. tech. science, associate professor
(*Kazan State Power Engineering University, Kazan*)

An analysis of changes in the structure of the wholesale market over the past nine years has been conducted. The main of the main directions in the wholesale electricity market is the creation of competitive advantages of the joint-stock company. This allows us to develop a new market model.

УДК 004.89

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЕМ В КОНЦЕПЦИИ
«ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ»**

Шаймарданова З.А. Шаймарданов Ш.А.

Научные руководители: Р.Т. Сиразетдинов, д.т.н., профессор,
В.В. Мокшин к.т.н., доцент

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Мир вступает в эпоху цифрового бизнеса, которая характеризуется беспрецедентным уровнем конвергенции технологий, бизнес-процессов, коммуникаций, искусственного интеллекта и "умных" вещей. Переход к цифровой форме бизнеса порождает волну прорывных инноваций во многих отраслях.

Плодами третьей промышленной революции - информационными технологиями, возможностями сети Интернет, системами автоматизации, промышленными роботами - производители пользовались уже давно. Но с течением времени количественный рост наработок привел к значительным изменениям, создав не просто базу для локальных преобразований производственных процессов, а толчок к технологической революции - объединению технологий и разработок в глобальную многоуровневую и многоэлементную систему, способную полностью изменить существующий технологический уклад.

Четвертая промышленная революция или как ее называют «Индустрия 4.0» разворачивается на наших глазах. На крупных производствах все чаще роботы заменяют человека. Сложные детали, разработка и изготовление которых раньше занимали недели, могут быть напечатаны на 3D-принтере с минимальными затратами материала за несколько часов. Оборудование научилось взаимодействовать друг с другом, самостоятельно оценивать и регулировать свою работу, сравнивая полученную информацию со знанием об идеальном технологическом процессе. Реальностью стало без-

людное производство и беспилотные автомобили. Сегодня любой компании важно поймать эту волну изменений, но как это сделать, когда темпы развития технологий в современном мире так высоки и продолжают ускоряться?

Термину «цифровое производство» уже более 10 лет. Ранее под термином «цифровое производство» понимали набор прикладных систем, которые, в основном, использовались на этапе технологической подготовки производства, а именно: для автоматизации процессов разработки программ для станков с ЧПУ, для автоматизации разработки технологических процессов для сборки, для автоматизации задач, связанных с планированием рабочих мест при программировании роботов, и для интеграции с системами MES, Manufacturing Execution System и системами управления ресурсами ERP. В последние годы, в связи с появлением новых технологий, этот термин получил более широкую трактовку. И на сегодняшний день под «цифровым производством» понимается, прежде всего, использование технологий цифрового моделирования и проектирования как самих продуктов и изделий, так и производственных процессов на всем протяжении жизненного цикла [1]. По сути, речь идет о создании цифровых двойников продукта и процессов его производства. Изменения в современной промышленности, которые «цифровое производство» подразумевает, будут происходить по следующим ключевым направлениям:

- Цифровое моделирование - развитие получает концепция цифрового двойника, то есть изготовление изделия в виртуальной модели, включающей в себя оборудование, производственный процесс и персонал предприятия.

- «Большие данные» (big data) и бизнес-аналитика, которые возникают в процессе производства.

- Автономные роботы, которые получают наибольшую промышленную функциональность, независимость, гибкость и исполнительность по сравнению с предыдущим поколением.

- Горизонтальная и вертикальная интеграция систем - большая часть из огромного количества используемых в настоящее время информационных систем интегрировано, но необходимо наладить более тесное взаимодействие на различных уровнях

ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

внутри предприятия, а также между различными предприятиями.

– Промышленный интернет вещей, когда поступающая с производства информация с большого количества датчиков и оборудования объединяется в единую сеть.

Совершенно очевидно, что облачные технологии, аддитивное производство и дополнительная реальность будут также влиять на развитие цифрового производства.[2] Основные изменения будут происходить именно благодаря этим перечисленным технологиям.

Совершенствование информационных и производственных технологий, автоматизация производств – все это способствует сокращению количества персонала, отвечающего за рутинные технологические операции материального производства. Вместе с этим растет потребность в высококвалифицированных кадрах, способных программировать работу механизмов и информационных систем [3].

Высокие требования, предъявляемые к квалификации и интеллекту таких сотрудников, стимулируют целый ряд перемен в структуре общества и, что важно, в образовательной сфере. Все большее влияние на экономику начинают оказывать не материальные средства производства для массового выпуска товаров, а высокоинтеллектуальная разработка сложных устройств и изготовление специальной и уникальной продукции небольшими партиями.

Общественное и экономическое развитие сегодня подошло к зарождению элементов промышленности будущего, для которой основную ценность будет представлять интеллект систем, механизмов, товаров и услуг, способный самостоятельно принимать решения в зависимости от многочисленных факторов взаимодействия со средой и человеком [2].

«Индустрия 4.0», получила свое начало в 2011 году благодаря политикам, бизнесменам, ученым и промышленникам Германии и была провозглашена главной составляющей развития страны в области высоких технологий. Цель, которую ставили перед собой разработчики этой концепции, – повышение конкурентоспособности страны в промышленности посредством тесной интеграции киберфизических систем на предприятиях и за их пределами[7]. В результате воплощения этой концепции, должно происходить вза-

имодействие между производственными мощностями и произведенными ими товарами без непосредственного участия человека, причем с самоадаптацией под новые запросы потребителей.[4] Взаимодействие должно быть настолько глубоким и автоматизированным, что у каждого потребителя товаров или услуг появится возможность практически напрямую контролировать производство своего заказа.

Можно представить, что при производстве деталей 3D-печатью больше не потребуется длительной разработки технологии, использования многофункциональных станков со сложнейшим программированием работы, высококвалифицированного персонала, проектирования и использования оснастки, наличия литейного цеха для заготовок, обязательного контроля заготовок и готовых деталей, сложной логистики и т.п. Аддитивные технологии в совокупности с другими составляющими «Индустрии 4.0» способны значительно сократить сроки логистических операций, тогда как сейчас процессы традиционной механообработки занимают в среднем менее 5% производственного цикла, а 95% приходится на внутривзаводскую и внешнюю логистику.

Крупные авиационные, автомобильные, оборонные, приборостроительные предприятия, медицина, включая стоматологию, образование, частный бизнес, всевозможные бизнес-инкубаторы уже по достоинству оценили преимущества использования 3D-печати и активно встраивают ее в свои рабочие процессы.[5] Как показывает успешный опыт использования аддитивных технологий в промышленности, зачастую удается сократить технологический процесс производства в несколько раз, при этом сложность изделий может быть повышена с одновременным сокращением количества деталей в сборке, ведь 3D-печать позволяет строить детали без оглядки на конструктивные и технологические ограничения, присущие традиционным подходам.

Сегодня большая часть производителей 3D-принтеров и аддитивных систем все еще предлагает отдельные средства производства, не способные встраиваться в технологический поток с использованием киберфизических систем. Другими словами, это один, два или три принтера, обслуживаемых одним оператором. В

*ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ
И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ*

обязанности оператора входит подготовка принтера к работе, подготовка рабочего органа к печати тем или иным материалом, подготовка и загрузка программы, смена материала, а зачастую и трудоемкая постобработка.

Ожидается, что цифровое производство сменит в ближайшие 20 лет некоторые виды массового производства, особенно с высокой конечной стоимостью продукции. Согласно концепции «Индустрии 4.0», производства будущего не будут иметь большую номенклатуру парка оборудования.[3] Они будут строиться на основе гибких производственных ячеек в составе киберфизических систем [6]. Ячейки и системы будут адаптироваться под конкретный заказ путем перепрограммирования, смены производственных модулей, оснастки, инструмента, материалов, перенаправления логистических потоков – и все это будет происходить в максимально короткие сроки. Такие производственные центры будущего будут иметь развитую сеть, строиться буквально полным техническим и технологическим клонированием и приближены к основным точкам потребления продукции.

Список литературы

1. *Мошкин В.В., Якимов И.М.* Метод формирования модели анализа сложной системы / Информационные технологии. 2011. № 5. С. 46-51.
2. *Липунцов Ю.П.* Прикладные программные продукты для экономистов. Основы информационного моделирования: учебное пособие / под науч. ред. проф. М.И. Лугачева. – Москва: Проспект, 2014. – 252с.С 226.
3. Цифровое промышленное предприятие экономики знаний в рамках концепции «Индустрия 4.0» // Неделя науки СПбПУ 2016. С. 96-99.
4. *Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мошкин В.В., Аляутдинова Г.Р., Пайгина Л.Р.* Имитационное моделирование бизнес-процессов в системе Bigazi Modeler / Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 9. С. 236-239.
5. *Якимов И.М., Абзалова Л.Р., Кирпичников А.П., Мошкин В.В.* Краткий обзор графических редакторов структурных моделей

сложных систем / Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 17. С. 213-221.

6. Мокшин В.В., Сайфудинов И.Р., Кирпичников А.П., Шарнин Л.М. Распознавание транспортных средств на основе эвристических данных и машинного обучения // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19. № 5. С. 130-137.

7. Степанова М.А., Сытник С.А., Кирпичников А.П., Мокшин В.В. Оптимизация процесса ремонта грузоподъемных машин по математической модели / Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 20. С. 309-314.

CONTEMPORARY METHODS OF MANAGEMENT OF THE ENTERPRISE IN THE CONCEPT "DIGITAL ENTERPRISE"

Shaymardanova Z., Shaymardanov S.

Supervisor: R. Sirazetdinov, Doctor of Technical Sciences, Professor,
V. Mokshin candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan*)

The world enters the era of digital business, which is characterized by an unprecedented level of convergence of technologies, business processes, communications, artificial intelligence and "smart" things. Transition to the digital form of business generates a wave of breakthrough innovations in many industries.

ПОДСЕКЦИЯ 5.7

**ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, ТЕОРИЯ
МЕХАНИЗМОВ И МАШИН,
МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА**

УДК 004.8

ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТРАЕКТОРИИ МЯЧА

Дисоу Иссе Фареи

Научный руководитель: В.В. Мокшин, к.т.н., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Задача ловля мяча роботом только с помощью одной камеры. Брошенный мяч отслеживается через алгоритм определения круга. Как только мяч распознан, камера начинает следовать базовой линии в пространстве, чтобы получить начальный набор данных визуальных измерений. Первая оценка точки ловли изначально предоставляется через линейный алгоритм.

Введение

В последние годы наблюдается повышенный интерес к нейронным сетям, которые нашли применение в самых различных областях человеческой деятельности – бизнесе, медицине, технике. Нейронные сети используются при решении задач распознавания, прогнозирования, классификации, управления. Такой впечатляющий успех определяется несколькими факторами [1]:

- нейронные сети – это исключительно мощный метод имитации процессов и явлений, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости.

- другая особенность нейронных сетей связана с тем, что они используют механизм обучения.

Постановка задачи. Роботизированная задача по захвату мяча только с помощью движущейся однокамерной системы, способной поймать Бросающий мяч [2]. Зброшенный шар визуально отслеживается через алгоритм обнаружения окружности. После распознавания шара камера вынуждена следовать базовой линии в пространстве, чтобы получить первоначальный набор визуальных измерений. Первоначальная оценка точки улавливания первоначально предоставляется посредством линейного алгоритма.

ПОДСЕКЦИЯ 5.7. ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

Задача ловли брошенного мяча обычно разбивается на три подпроблемы: обнаружение шара, оценка траектории и управление движением робота. Обычно для решения первой проблемы требуется высоко скоростная стереосистема[3].

В рамках подхода, предложенного в этой диссертации, показано как с теоретической, так и с практической точки зрения, что проблему Бросающий брошенного мяча можно решить, используя только одну камеру. Кроме того, таким образом, стоимость всего оборудования может быть сокращена. Даже если в последнее время многие недорогие стереосистемы доступны в готовом виде, вычислительные затраты на разработку с высокой частотой кадров (например, около 140 Hz) по-прежнему требуются в задаче по захвату мяча, и это можно снизить, используя монокулярную систему, экономя вычислительные ресурсы.

В последние годы развитие роботизированных движений быстро развивается, и визуальные методы также широко применяются[4]. От простой обработки изображений методов для сложных навыков распознавания образов, новейшая технология заключается в имитации стереовидения человеческого глаза и отслеживания или работы с быстро движущимися объектами. Поймать быстро движущийся объект можно использовать для описания работы во многих подполях робототехники, зондирования, обработки, активации и проектирования систем. Время реакции на всю систему робота: датчики, процессор и исполнительные механизмы очень короткие. Сенсорная система должна как можно раньше давать оценки траектории объекта, чтобы робот мог как можно раньше начать движение примерно в нужное место. Должна быть достигнута высокая точность, чтобы наилучшая уловка позиция может быть вычислена и доступно максимальное время реакции. Интеллектуальное зондирование, отслеживание объектов, прогнозирование движения, планирование траектории в реальном времени и координация движения - это возможности, необходимые в роботизированной системе, чтобы поймать брошенный мяч. Чтобы успешно поймать летающий шар, требуется жесткая взаимосвязь быстрого восприятия, хорошая стратегия ловли, контроль тела и ловкость, необхо-

димые для достижения необходимой точности в пространстве и времени.

Во всех работах общая установка в принципе есть то же самое: стереосистема зрения отслеживает мяч и предсказывает траектория шаров, затем точка и время, где и в ориентация робота должна перехватывать мяч на его траектории. Далее, конфигурация робота вычисляется, и, наконец, путь сгенерировано, что приводит робота от его начальной конфигурации к требуемой конфигурации улова. Чтобы поймать объект с помощью робота, система генерирует движение руки на основе на информацию о местоположении объекта.

Ниже приведены три подходы для ловли объектов:

(А) Для калибровки отношений манипулятора робота и камер.

(В) Отслеживать текущую позицию объекта системой видения.

(С) Чтобы переместить рычаг робота в положение в определенное время.

Актуальность работы. Распознавание визуальных образов представляет собой один из важнейших компонентов систем управления и обработки информации, автоматизированных систем и систем принятия решений. Задачи, связанные с классификацией и идентификацией предметов, явлений и сигналов, характеризующихся конечным набором некоторых свойств и признаков, возникают в таких отраслях как робототехника, информационный поиск, мониторинг и анализ визуальных данных, исследования искусственного интеллекта. Алгоритмическая обработка и классификация изображений применяются в системах безопасности, контроля и управления доступом, в системах видеонаблюдения, системах виртуальной реальности и информационных поисковых системах[5]. В настоящий момент в производстве широко используются системы распознавания рукописного текста, автомобильных номеров, отпечатков пальцев или человеческих лиц, находящие применение в интерфейсах программных продуктов, системах безопасности и идентификации личности, а также в других прикладных целях.

ПОДСЕКЦИЯ 5.7. ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

Интенсивные исследования в этой области имеют многолетнюю историю и связаны с работами Д. Хьюбела и Т. Визела, Т. Кохонена, М. Турка и А. Петланда, Д. Хинтона и других. За последнее время существенный прогресс в распознавании визуальных образов был достигнут с появлением методов снижения размерности, сверточных нейронных сетей и констелляционных моделей. Однако, несмотря на достигнутые успехи, современные исследования подтверждают тот факт, что алгоритмы распознавания изображений до сих пор не обладают полноценными способностями биологических зрительных систем, такими как способность функционировать на широком, не ограниченном сверху множестве классов распознавания, устойчивость к инвариантным преобразованиям и вариативности объектов в пределах категорий.

Предметом исследования: являются математические модели и алгоритмы распознавания образов и отслеживания объектов[6].

Практическая значимость разработанного метода заключается в способности отслеживать объект (оранжевый шар) инвариантно. Траектория летающего оранжевого шара моделируется фильтром Калмана, который, основываясь на измеренных данных, оценивает его состояние. Состояние шара описывается его текущим положением и скоростью. По результатам оценки прогнозируется подходящая контрольная точка, и позиции робота-манипулятора корректируются в соответствии с прогнозом. Обработка изображений осуществляется с помощью библиотеки компьютерного зрения OpenCV, которая широко используется в различных отраслях промышленности[7].

Достоверность полученных результатов обеспечивается:

- проверкой теоретических положений с помощью экспериментального исследования;
- базированием на обоснованном научном аппарате глубокого обучения распознаванию изображений по репрезентациям;
- сравнительным анализом результатов работы предложенного алгоритма с альтернативными признанными алгоритмами, обоснованными теоретически и широко использующимися на практике;

– сопоставлением результатов эксперимента с данными других экспериментов, проведенными исследователями в сфере распознавания образов.

– разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

– разработкой специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

– методами и алгоритмами интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах.

Список литературы

1. Руденко О.Г., Бодянский Е.В. Основы теории искусственных нейронных сетей. – Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2002. – 317с.

2. Круглов В.В., Борисов В.В., Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382с.

3. Мокишин В.В., Якимов И.М. Метод формирования модели анализа сложной системы / Информационные технологии. 2011. № 5. С. 46-51

4. Мокишин В.В., Якимов И.М., Юльметьев Р.М., Мокишин А.В. Рекурсивно-регрессионная самоорганизация моделей анализа и контроля сложных систем / Нелинейный мир. 2009. Т. 7. № 1. С. 66-76.

5. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Матвеева С.В., Мокишин В.В., Фролова К.А. Имитационное моделирование сложных систем средствами ARIS TOOLSET 6 / Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 15. С. 338-343.

6. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокишин В.В., Мухутдинов Т.А. Обучение имитационному моделированию в пакете Simulink системы MatLab / Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 5. С. 184-188.

7. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокишин В.В., Аляутдинова Г.Р., Пайгина Л.Р. Имитационное моделирование бизнес-процессов в системе Bigazi Modeler / Вестник Казанского

технологического университета. 2015. Т. 18. № 9. С. 236-239.

SOFTWARE FOR IDENTIFYING THE BALL TRAJECTORY IN FLIGHT

Di'sow Isse Farei

Supervisor: V. Mokshin, Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

A robotic ball catching task with only a moving single-camera (eye-in-hand) system able to catch flying ball. The thrown ball is visually tracked through a circle detection algorithm. Once the ball is recognized, the camera is forced to follow a baseline in the space so as to acquire an initial data-set of visual measurements. A first estimate of the catching point is initially provided through a linear algorithm.

УДК 531/534

О ПРОЕКТИРОВАНИИ ФЕРМЕННОГО ЭНДОПРОТЕЗА ДЛИННЫХ КОСТЕЙ

Большаков П.В.

Научный руководитель: О.А. Саченков, к.ф.-м.н.
(Казанский Федеральный Университет, г. Казань)

В работе рассмотрено конструирование ферменного эндопротеза длинных костей из условия равного нагружения конструкции. Приведен пример такой конструкции для заданных геометрических свойств.

В настоящее время артропластика широко распространена в хирургии. В работе рассматривается конструирование ферменного эндопротеза для длинных костей. Форма конструкции должна позволять размещение костного материала, с целью ускорения заживления организма. В настоящей работе была выбрана геометрия с базовым элементом в виде гексагональной бипирамиды. Конструкция формируется из блоков, каждый из которых состоит из гексагональных бипирамид (см. рис. 1). Каждый блок характеризуется параметром λ , который есть отношение высоты бипирамиды к радиусу описанной окружности шестиугольника.

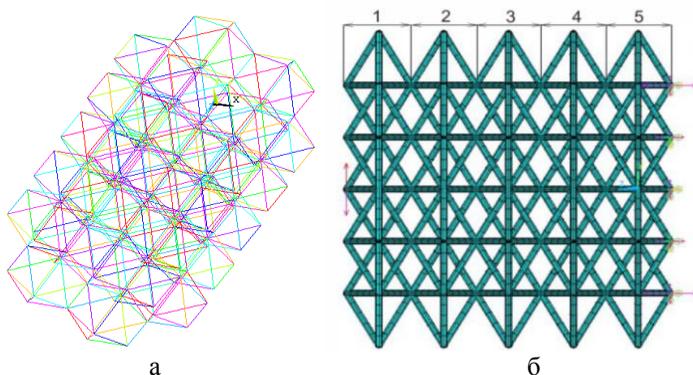


Рис. 1. Иллюстрация конструкции: а – конструкция из пяти блоков, б – конечно-элементная модель из трех блоков

Для определения сил, действующих на конструкцию были использованы математические модели, разработанные авторами [1, 2, 6]. Первоначально было исследовано напряженно-деформированное состояние элементарного блока на изгиб и сжатие в зависимости от значения параметра λ .

Сам эндопротез производится с помощью аддитивных технологий, свойства материала при этом после обработки схожи со свойствами стали РН 17-4 [3–5, 7], длина рабочего участка эндопротеза 40 мм., ширина – 6 мм., радиус сечений элементов 2 мм. Первоначально был спроектирован эндопротез с равномерным заполнением ячеек, то есть параметр λ у каждого блока был равен единице (см. рис. 2а). Такая реализация не оптимальна, так как блоки нагружены не равномерно. Было решено реализовать алгоритм, позволяющий перестроить конструкцию в терминах параметра λ таким образом, чтобы конструкция была нагружена равномерно.

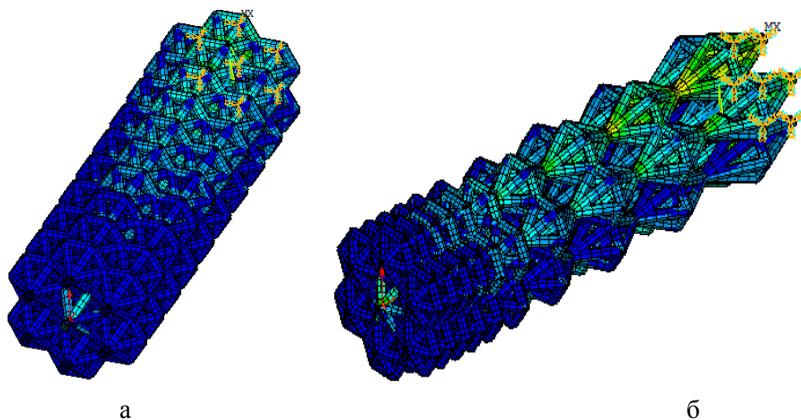


Рис. 2. Конечно-элементная модель:
первоначальная (а) и оптимизированная (б)

Реализация алгоритма оптимизации конструкции была сделана в программном комплексе Ansys, для упрощения вычислений, в виду симметрии, расчет производился для половины конструкции. Результат оптимизированного эндопротеза приведен на рису-

унке 2б. При этом нагружение блоков стало более равномерно, а максимальные напряжения по всей конструкции уменьшились на 50 %.

Список литературы

1. *Зайцева Т.А., Коноплев Ю.Г., Митряйкин В.И., Саченков О.А.* Математическое моделирование вывиха имплантата в тазобедренном суставе // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. № 1. С. 99–102.

2. *Закиров Р.Х., Коноплев Ю.Г., Митряйкин В.И., Саченков О.А.* Математическое моделирование биомеханики сустава // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 1. С. 31.

3. *Кашипов Р.Н.* Плазменно-электролитная обработка поверхности металлов // Физика и химия обработки материалов. 2010. № 5. С. 50–56.

4. *Ковалев О.Б.* Фундаментальные проблемы моделирования и диагностики процессов в лазерных технологиях аддитивного производства объемных металлоизделий // В сборнике: XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики сборник докладов. Составители: Д.Ю. Ахметов, А.Н. Герасимов, Ш.М. Хайдаров; ответственные редакторы: Д.А. Губайдуллин, А.И. Елизаров, Е.К. Липачев. 2015. С. 1836–1838.

5. *Котельников Г.П., Колсанов А.В., Николаенко А.Н., Попов Н.В., Иванов В.В., Щербовских А.Е., Приходько С.А., Платонов П.В.* Применение 3D-моделирования и аддитивных технологий в персонализированной медицине // Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи. 2017. № 1. С. 20–26.

6. *Саченков О.А., Хасанов Р.Ф., Андреев П.С., Коноплев Ю.Г.* Численное исследование напряженно-деформированного состояния тазобедренного сустава при ротационной остеотомии проксимального участка бедренной кости // Российский журнал биомеханики. 2016. Т. 20. № 3. С. 257–271.

7. *Хоменко М.Д., Дубров А.В., Мирзаде Ф.Х.* Стратегии декомпозиции в задачах моделирования процессов аддитивных лазерных технологий // Автотметрия. 2016. Т. 52. № 6. С. 110–119.

**ON THE DESIGN OF FERMENT
ENDOPROSTHESIS OF LONG BONES**

Bolshakov P.

Supervisor: O. Sachenkov, Candidate of Physico-mathematical Sciences
(Kazan Federal University, Kazan)

The construction of a long-bones endoprosthesis from the condition of equal structural loading is considered. An example of such a construction for given geometric properties is given.

УДК 62-235.1/.58

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ БЛОКИРУЮЩИХ КОНТУРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПЕРЕДАЧ В СРЕДЕ КОМПАС 3D

Бухмин А.Д.

Научный руководитель: Ф.Ф. Хабибуллин
*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Рассмотрены свойства интерактивного блокирующего контура (ИБК). Проведен пример проектирования зубчатых передач и исследованы их блокирующие контуры, полученные в Компас 3D 16.1.

Введение

Приоритет при проектировании дается долговечности, повышенной прочности, износостойкости и плавности работы зубчатых передач. Наиболее высокое число среди зубчатых передач приходится на эвольвентные цилиндрические передачи (около 80%). Среди них есть передачи, которые наиболее приспособлены к нагружению - корригированные передачи (со смещением). Корригирование - это процесс улучшения профиля зуба, когда его очерчивают другим участком этой же эвольвенты по сравнению с нормальным зацеплением. Корригирование производится путем смещения инструментальной рейки на определенную величину при нарезании зубьев.

Корригирование применяется для: устранения подрезания зубьев шестерни, повышения контактной прочности, повышения изгибной прочности и получения заданного межосевого расстояния. Коэффициенты смещения исходного контура x_1 и x_2 корригированной зубчатой пары позволяют определить расстояние от делительной прямой производящей рейки до делительной окружности зубчатого колеса в станочном зацеплении, при нарезании шестерни и колеса. Задачей проектирования является нахождение коэффициентов смещения x_1 и x_2 , где передача будет иметь лучшие качественные показатели.

Свойства блокирующего контура зубчатой передачи

Блокирующий контур – совокупность линий в системе координат x_1 и x_2 , которые ограничивают зону допустимых коэффициентов смещения для передачи с числами зубьев z_1 и z_2 . Блокирующий контур используют для выбора значений коэффициентов относительного смещения, которые удовлетворяют условиям: подрезания ножек зубьев, интерференции, обеспечение требуемого коэффициента перекрытия, отсутствия заострения головок зубчатых колес. Также ИБК должен обеспечивать плавность работы. Блокирующий контур имеет стандарт и выбирается по справочным материалам. Значения коэффициентов смещения, которые не удовлетворяют данным условиям отсекают границы ИБК. Для каждой пары коэффициентов смещения есть свои показатели. Величина и знак коэффициентов смещения влияют на геометрию и качественные показатели зубчатой передачи (см.рис.1) [1].

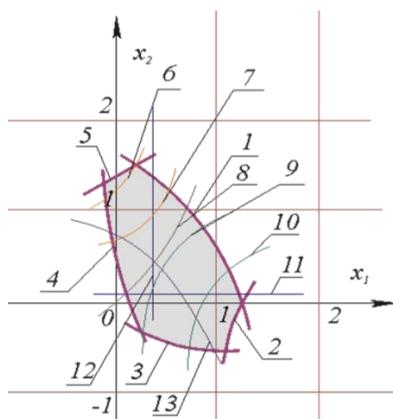


Рис.1. Блокирующий контур зубчатой передачи: 1 - коэффициент торцевого перекрытия $E_a = 1$; 2 - толщина зуба колеса z_1 по окружности вершин $S_{a1} = 0,3$; 3 - допустимое подрезание колеса z_1 ; 4 - допустимое подрезание колеса z_2 ; 5 - интерференция или заклинивание с переходной кривой колеса z_2 . Линии качественных показателей: 6 - линия $S_{a2} = 0,25m$; 7 - линия $S_{a2} = 0,4m$; 8 - линия выравненных удельных скольжений $l_1=l_2$; 9 - линия $S_{a1} = 0,4m$; 10 - линия $S_{a1} = 0,25m$; 11 - линия $x_2 = x_{2min}$; 12 - линия $x_1 = x_{1min}$; 13 - линия $E_a = 1,2$

Применение зубчатых передач со смещением позволяет: повысить долговечность, нагрузочную способность или плавность зацепления зубчатой передачи, уменьшить габариты или вписаться в заданное межосевое расстояние. Коэффициенты смещения необходимо назначать с учетом того, как работает зубчатая передача.

Задачи проектирования [2, 3]:

1) определить тип зубчатого механизма, число зубьев колес и передаточное число.

2) провести расчет на прочность, найти модуль зубчатых колес или межосевое расстояние.

3) провести геометрический расчет для коэффициентов смещения, для исключения подрезания, срезания и заострения зубьев колес и благоприятного сочетания качественных показателей зубчатой передачи.

4) проектирование зубчатой передачи в Компас 3D. Математическая модель зубчатой передачи - это геометрический расчет, выполняемый по ГОСТ 16532-70 [4], и расчет на прочность, выполняемый по ГОСТ 21354-87 [5], с целевой функцией, выстраиваемой по одному или по совокупности критериев.

При построении линии блокирующего контура необходимо найти линии экстремумов в двумерном поле значений коэффициентов смещения. Они были использованы при разработке подсистемы выбора и расчета коэффициентов смещения, чтобы рассчитать модуль цилиндрической зубчатой передачи внешнего зацепления (см. рис. 2), входящего в комплекс программ КОМПАС-GEARS, для системы трехмерного моделирования КОМПАС-3D российской компании АСКОН.

ПОДСЕКЦИЯ 5.7. ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

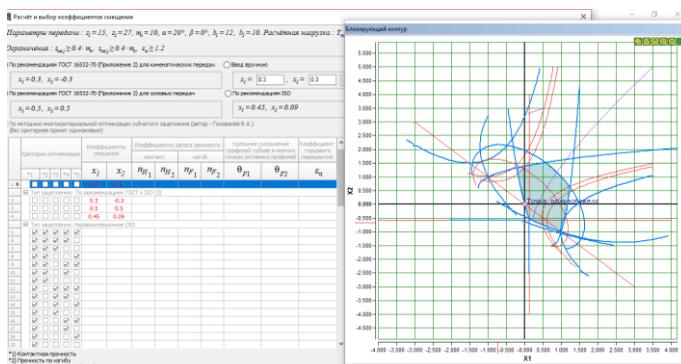


Рис. 2. Диалоговое окно «Расчет и выбор коэффициентов смещения»

Для решения поставленной задачи была выбрана программная реализация метода SUMT Фиакко и Маккормика. После просмотра диалогового окна этой подсистемы автоматически строится ИБК. После чего пользователь может выбрать точку с коэффициентами смещения x_1 и x_2 или же запустить расчет для их нахождения [6].

В результате выполнения расчетов находим решения, которые показывают сочетания 5 критериев: контактной прочности; плавности работы передачи; равнопрочности по изгибу зубьев ведомого и ведущего колеса; прочности по изгибу; износостойкости и наибольшего сопротивления заеданию.

Работа с интерактивным блокирующим контуром

При выполнении оптимизационного расчета в поле ИБК будут поставлены пять точек, которые соответствуют своему индивидуальному критерию. По любому из точек расчета пользователь может показать любую точку в поле ИБК, чтобы выполнить расчет вручную [7]. По вариантам можно посмотреть результаты расчета на прочность и геометрического расчета (рис.3а). Как выполнена визуализация зацепления(рис.3б).

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ)»

Таблица 1. Геометрический расчет цилиндрической зубчатой передачи внешнего зацепления

Наименование и обозначение параметра	Входные параметры	Выходные параметры
Исходные данные		
Число зубьев	Z_1, Z_2	15, 27
Модуль, мм	m	10
Угол наклона зубьев на делительном круге	β	$0^\circ 10' 00''$
Нормальный модуль	m_n	$10 \cos 1^\circ 10' 56.1''$
Угол профиля нормального контура	α	$20^\circ 00' 00''$
Коэффициент высоты головки зуба нормального контура	k_a	1
Коэффициент радиального выноса нормального контура	k_f	0,25
Коэффициент базиса профиля геликоидальной фрезы в зацеплении нормального зуба нормального контура	ρ^2	0,38
Ширина зубчатого венца, мм	b	10, 10
Коэффициент смещения нормального контура	x	+0,3, +0,3
Смещение головки	y	7,0, 7,0
Средние параметры		
Передаточное число	i	1,8
Нормальная делительная окружность, мм	d_n	$210,525 \frac{m}{\cos \beta}$
Делительный диаметр, мм	d	180, 270
Диаметр вершин зубьев, мм	d_a	175, 285
Диаметр впадин зубьев, мм	d_f	191, 281
Наружный диаметр, мм	d_{e1}	163,826, 277,071
Внутренний диаметр, мм	d_{i1}	140,854, 253,717
Угол зацепления	α_w	$22^\circ 41' 30''$
Контролирующие и исполнительные параметры		
Постоянная скольжения	ξ	15,789, 15,789
Высота заголовочной головки, мм	h_a	8,825, 8,825
Радиус скругления радиально-профильной зубки в точках сопряжения постоянной скорости, мм	r_f	34,058, 34,078
Радиус скругления радиально-профильной зубки в головке зуба, мм	r_{f1}	11,342, 34,758
Положение $\rho^2 \leq 0,4$ выполняется заданным нормативом	ρ^2	выполнено, выполнено
Число зубьев в длине общей нормали	Z_N	3, 4
Длина общей нормали, мм	W	$17,956 \frac{m}{\cos \beta}$, 159,156 $\frac{m}{\cos \beta}$

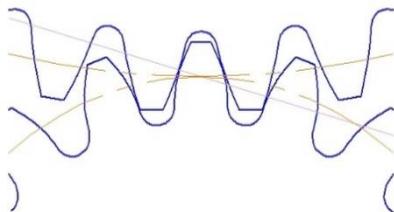


Рис. 3. а) результаты расчета на прочность при действии максимальной нагрузки; б) визуализация зацепления

Из данной визуализации зацепления определяется длина, физический смысл подрезания и необходимость усечения головки зуба.

Заключение

Обзор методов улучшения блокирующего контура показывает, что при расчете лучше использовать САЕ- и САЕ-системы. Создание БК в электронном виде позволяет использовать больше исходных данных. Благодаря дополнительным исходным данным можно проектировать более точные зацепления и появляется возможность синтеза новых видов зубчатых зацеплений. В процессе исследования установлено, что в системы трехмерного моделирования КОМПАС-3D, можно сопоставить качественные параметры, построить блокирующий контур для цилиндрических, эвольвентных, прямозубых и косозубых зубчатых колёс с внешними и с внутренними зубьями.

Список литературы

1. Громан М.Б. Подбор коррекции зубчатых передач // Вестник машиностроения. 1955.2
2. Болотовский И.А., Безруков В.И., Васильева О.Ф. и др. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и

*ПОДСЕКЦИЯ 5.7. ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ
И МАШИН, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА*

червячных передач / Под ред. И.А. Болотовского. — 2-е изд. — Машиностроение, 1986. 448 с.

3. Дикер Я.И. Таблица расчета зацеплений зубчатых передач. Оргаметалл, 1937.

4. ГОСТ 16532-70. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии. М.: Изд-во стандартов, 1983. 41 с.

5. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. М.: Изд-во стандартов, 1988. 127 с.

6. Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф. К обоснованию структурных параметров механизмов приводов двухподвижного дезинтегратора // XII Международная научно-техническая конференция "ВИБРАЦИЯ-2016". 18.05.-20.05. 2016, С.263-269, ISBN 978-5-7681-1116-8.

7. Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф., Мингазов М.Р. Дезинтегратор с управляемым режимом дробления/ В сборнике: Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования X Международная научно-техническая конференция. 2015. С. 209-213.

**USING INTERACTIVE BLOCKING CIRCUITS
IN THE DESIGN OF EVOLVENT TRANSMISSIONS
IN WEDNESDAY COMPASS 3D**

Bukhmin A.

Supervisor: F. Khabibullin

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The properties of the interactive blocking contour (IBC) are considered. An example of the design of gears and studies of their blocking circuits obtained in Compass 3D 16.1 is given.

УДК534.014.1

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА В «L-МИКРО»

Галушка М.С.

Научный руководитель: А.М. Гаврилов, д.ф.-м.н., доцент
(Южный федеральный университет, г. Таганрог)

Используя лабораторное оборудование «L-микро», экспериментально исследованы зависимости периода колебаний простейшего физического маятника от длины подвеса, амплитуды угла отклонения и наклона плоскости колебаний. Обсуждаются причины расхождений, предложен способ учета некоторых факторов.

1. Экспериментальная установка

Цель работы – экспериментально проверить известные модели свободных колебаний простейшего маятника в режимах малых и больших амплитуд, на наклонной плоскости [1, 2].

Комплект оборудования: груз (стальной шар – масса 26 г, диаметр 18 мм), нить, фотодатчик, электромагнит пускового устройства, электронный блок «L-микро», магнитная рейка, наклонная плоскость, источник питания электромагнита, ПК с программой «L-микро».

Программа позволяет отображать на экране сигналы фотодатчика, обрабатывать данные, строить зависимости периода колебаний от длины подвеса маятника.

2. Теоретическая модель колебаний маятника

Движение маятника без потерь опишем уравнением:

$$m\vec{a} = m(\vec{a}_n + \vec{a}_\tau) = \vec{F}_{n2} + m\vec{g}; \quad (1)$$

где

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau; \quad a_n = l[d\alpha/dt]^2; \quad V = l d\alpha/dt. \quad (2)$$

$$\vec{a}_\tau = d^2\vec{s}/dt^2; \quad a_\tau = l d^2\alpha/dt^2; \quad s = l\alpha. \quad (3)$$

Заменим (1) уравнениями для проекций на оси Ox и Oy , рис. 1:

$$Ox: \quad ma_\tau = -mg \cdot \sin\alpha; \quad (4)$$

$$Oy: \quad ma_n = F_{n2} - mg \cdot \cos\alpha. \quad (5)$$

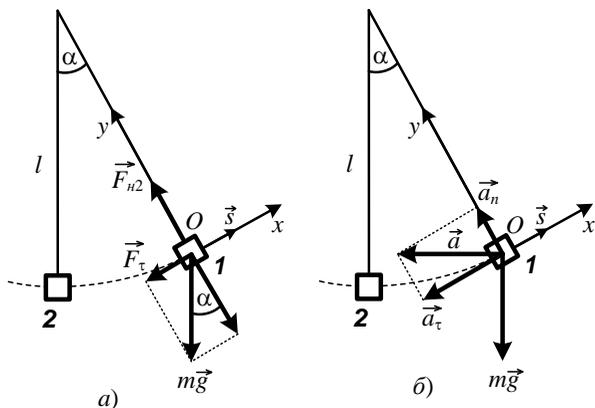


Рис. 1. Проекция сил на оси Ox и Oy

Учтем (3) для a_τ и получим уравнение движения маятника

$$d^2\alpha(t)/dt^2 = -\omega_0^2 \cdot \sin[\alpha(t)], \quad (6)$$

где ω_0 – частота собственных колебаний маятника:

$$T_0 = 2\pi/\omega_0 = 2\pi\sqrt{l/g}. \quad (7)$$

Для $\alpha \ll 1$ из (6) получим уравнение гармонического осциллятора:

$$d^2\alpha(t)/dt^2 = -\omega_0^2\alpha(t). \quad (8)$$

Решением (8) является семейство гармонических функций

$$\alpha(t) = \alpha_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (9)$$

где φ_0 – начальная фаза. Из (7) следует изохронность колебаний, т.е. независимость периода T_0 от амплитуды угла отклонения маятника, что свойственно колебаниям малой амплитуды.

Результаты измерений зависимости периода свободных колебаний от длины маятника $T_0(l)$ показаны на рис. 2. Экспериментальные точки хорошо ложатся на теоретическую зависимость (7) в пределах проведенных изменений длины подвеса маятника.

3. Колебания маятника в режиме больших амплитуд

Разложим $\sin\alpha$ в правой части (6) в ряд Маклорена для $\alpha < 1$ и отбросим малые члены более высокого порядка α^5 , α^7 и т.д.:

$$\sin\alpha = \alpha - \alpha^3/3! + \dots, \quad (10)$$

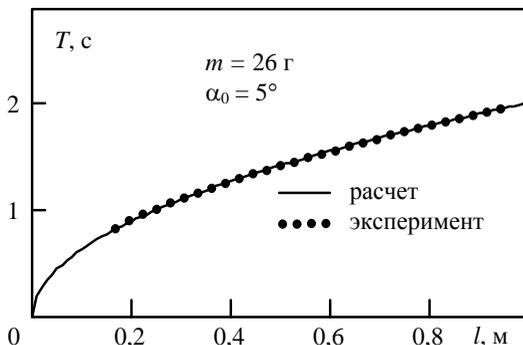


Рис. 2. Зависимость периода колебаний от длины подвеса маятника $T(l)$

Подстановка (10) в (6) приводит к нелинейному уравнению

$$\frac{d^2\alpha(t)}{dt^2} + \omega_0^2\alpha(t) = \frac{\omega_0^2}{6}\alpha^3(t), \quad (11)$$

Для (11) гармоническая функция (9) уже не является решением. Противоречие снимем, расширяя решение (9), считаем, что маятник колеблется одновременно на частотах ω и 3ω :

$$\alpha(t) = \alpha_0 \cos(\omega t + \varphi_0) + \varepsilon \alpha_0 \cos[3(\omega t + \varphi_0)], \quad (12)$$

где ε – безразмерный параметр. Подстановка (12) в (11) обнаружит, что кроме частот ω и 3ω нелинейный член изменяется на частоте 9ω . При небольшой амплитуде 1-й гармоники ($\alpha_0 < 1$) параметр ε мал ($\varepsilon \ll 1$). Высшие гармоники (9ω , 27ω и т.д.) имеют амплитуды $\varepsilon^2\alpha_0$, $\varepsilon^3\alpha_0$ и т.д., которые меньше амплитуды 3-й гармоники $\varepsilon\alpha_0$.

Из нелинейного уравнения колебаний находим период свободных колебаний маятника для больших амплитуд и параметр ε :

$$T_1(\alpha_0) = 2\pi \sqrt{l/g(1 - \alpha_0^2/8)} = T_0/\sqrt{1 - \alpha_0^2/8}. \quad (13)$$

$$\varepsilon = \omega_0^2\alpha_0^2/24(9\omega^2 - \omega_0^2).$$

Результаты измерений зависимости $T(\alpha_0)$ показаны точками на рис. 3, где приведены данные расчета (13) без учета потерь (кривая 2) и с потерями (кривая 1), период для малых амплитуд (линия 3).

Нарастающее расхождение экспериментальных данных и

расчета наблюдается при больших амплитудах ($\alpha_0 > 35^\circ$), что можно объяснить приближенным характером зависимости (13) и провисанием нити, не обладающей жесткостью.

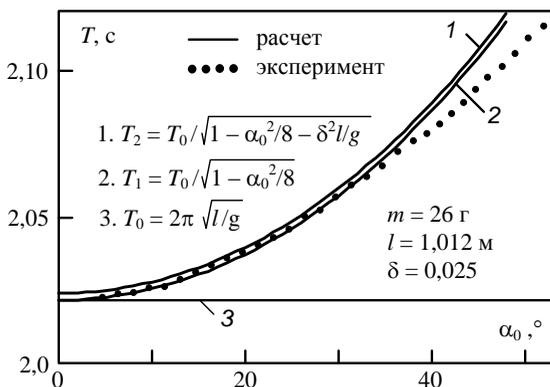


Рис. 3. Зависимость периода свободных колебаний маятника от амплитуды угла отклонения груза

4. Колебания маятника по наклонной плоскости

Груз маятника массой m подвешен к точке крепления O на нерастяжимой нити длиной l и расположен на плоской поверхности AB , ориентированной под углом φ к вертикали, рис. 4. Полагаем:

- 1). – поверхность AB гладкая и не создает сопротивления грузу;
- 2). – на груз действуют силы тяжести $m\vec{g}$, натяжения \vec{F}_n , реакции \vec{N} :

$$m\vec{g} + \vec{F}_n + \vec{N} = 0, \quad \text{где } F_n = mg \cdot \cos\varphi; \quad N = mg \cdot \sin\varphi;$$

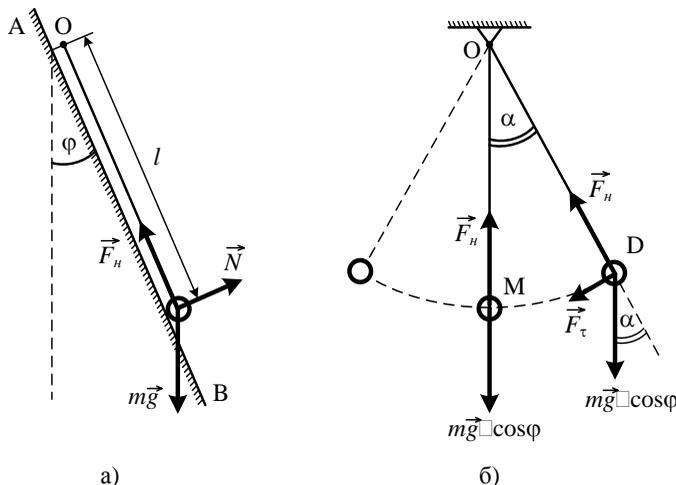


Рис. 4. Колебания маятника вдоль наклонной плоскости AB

- 3). – при колебаниях сила реакции \vec{N} остается постоянной
 $N = mg \cdot \sin\varphi = \text{const}$;
- 4). – сила натяжения нити \vec{F}_n изменяется в процессе колебаний:

$$\vec{F}_n = f(t) = mg \cdot \cos\varphi \cdot \cos\alpha;$$

- 5). – возвращающая сила \vec{F}_τ пропорциональна смещению s :

$$F_\tau = mg \cdot \cos\varphi \cdot \sin\alpha.$$

Уравнение сил, действующих вдоль плоскости AB , рис. 1-б:

$$m\vec{g} \cdot \cos\varphi + \vec{F}_n = m\vec{a}_\tau. \quad (14)$$

Уравнение (14) для проекций на направление силы \vec{F}_τ

$$mg \cdot \cos\varphi \cdot \sin\alpha = ma_\tau, \quad (15)$$

где тангенциальное ускорение a_τ равно

$$a_\tau = dV/dt = l \cdot d^2\alpha/dt^2. \quad (16)$$

С учетом (16) уравнение (15) принимает вид:

$$d^2\alpha/dt^2 - \omega_0^2 \cdot \sin\alpha = 0, \quad \text{где } \omega_0 = \sqrt{g \cdot \cos\varphi/l}.$$

Период колебаний груза, скользящего по наклонной плоскости:

$$T(\varphi) = 2\pi/\omega_0 = 2\pi\sqrt{l/(g \cdot \cos\varphi)}. \quad (17)$$

В эксперименте угол наклона плоскости меняли в интервале

$\varphi = 0 \dots 73^\circ$. Результаты измерений показаны точками, рис. 5. Зависимость (17) прошла ниже экспериментальных точек, кроме точки $\varphi = 0$, где груз колеблется, не касаясь плоскости. Несовпадение опыта и расчета вызвано влиянием вращательного движения качения груза по плоскости, не учитываемого в (17).

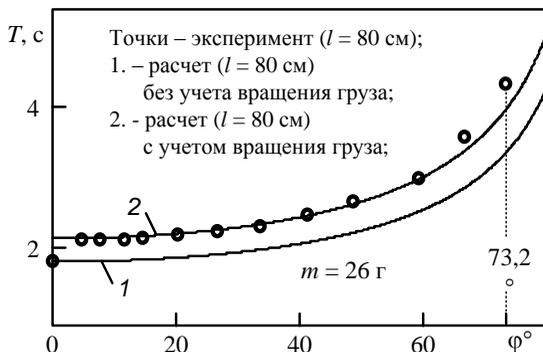


Рис. 5. Результаты измерений (точки) и расчета (сплошные линии) зависимости периода колебаний маятника от угла наклона плоскости

Закон сохранения энергии и скорость груза в нижней точке траектории ($\varphi = 0$) при колебаниях в вертикальной плоскости ($N = 0$)

$$mgh = 0,5mV_1^2; \quad V_1 = \sqrt{2gh}.$$

На наклонной поверхности ($N \neq 0$) пара сил трения \vec{F}_{mp} и \vec{F}_τ приводит шар во вращение. При движении без проскальзывания $V_2 = V_3 = \omega R$, где ω и R – угловая скорость и радиус шара. Приращение потенциальной энергии ΔW_n при отклонении шара на угол α_0 с началом движения преобразуется в кинетическую энергию поступательной и вращательной форм движения:

$$mgh = 0,5(mV_2^2 + J\omega^2) = 0,7m\omega^2 R^2,$$

где J – момент инерции (для шара $J = 2mR^2/5$);

$$V_2 = \omega R = \sqrt{2mgh/(m + J/R^2)} = \sqrt{10gh/7}.$$

Период колебаний с учетом вращательного движения:

$$T_{\text{вр}}(\varphi) = \frac{2\pi}{\omega_0} \cdot \frac{V_1}{V_2} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g \cdot \cos\varphi} \cdot \frac{m}{m + J/R^2}}.$$

Зависимость $T_{\text{вр}}(\varphi)$ в интервале $0 < \varphi \leq 60^\circ$ практически совпала с экспериментальными точками, кривая 2 на рис. 5. При $\varphi > 60^\circ$ согласие опыта и расчета нарушается из-за провисания нити и приближенного вида (13). Вклад вращательного движения в период не зависит от массы и радиуса груза, влияет только форма груза.

5. Выводы

Измеренные зависимости периода колебаний маятника от длины подвеса $T(l)$ и от амплитуды $T_1(\alpha_0)$ хорошо согласуются с теорией. При $\alpha_0 > 35^\circ$ расхождение экспериментальных данных и расчета обусловлено провисанием нити и приближенным видом (13). Влияние наклона поверхности, вдоль которой движется маятника, необходимо рассматривать с учетом вращения груза.

Список литературы

1. Алешкевич В.А., Деденко Л.Г., Караваяев В.А. Колебания и волны. – М.: Физический факультет МГУ, 2001. – 144 с.
2. Хаджи П., Михайленко А. Математический маятник на наклонных поверхностях. – Квант, 1998, № 2. С. 40 – 41.

PENDULUM OSCILLATIONS RESEARCHING IN “L-MICRO”

Galushka M.

Supervisor: A. Gavrilov, doctor phys.-math. sc., docent
(Southern Federal University, Taganrog)

Using labware "L-micro", oscillation period dependences on hairline length, amplitude and inclination of oscillation's plane are experimentally investigated for elementary physical pendulum. The reasons of divergences are discussed, the way of the account of some factors is offered.

УДК 621.01

ТРЕНАЖЕР ВЕСТИБУЛЯРНОГО АППАРАТА

Ефремов В.А

Научный руководитель: И.Р. Исянов

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Проведен литературный и интернет обзор существующих тренажеров вестибулярного аппарата. Предложен устройство тренажера вестибулярного аппарата и описан принцип работы.

Введение. В наше время некоторые люди жалуются на плохое самочувствие в движущемся транспорте. Их укачивает в метро, автобусах, на кораблях и даже в скоростных лифтах. Связано это с неправильной работой специального органа под названием вестибулярный аппарат. В тренировке вестибулярного аппарата нуждаются космонавты, летчики, спортсмены, моряки для повышения устойчивости организма человека, с целью адаптации к перегрузкам и синдрому невесомости. Также в частности может быть использовано для тренировок акробатов и гимнастов при подготовке выступлений.

Существует достаточно огромное количество тренажеров для тренировки вестибулярного аппарата [1,2]. Вот одни из примеров:

- Тренажер под названием Гироскоп (рис.1) предназначен для развития координации у летчиков и парашютистов. Вращение гироскопа может происходить в трех плоскостях. Вращательные движения создается силами тренера или партнера, который с помощью усилия рук придает вращательные движения кольцам гироскопа. Торможение осуществляется естественным образом, по завершению амплитуды вращательных движений или усилиями тренажера.



Рис. 1. Тренажеры для вестибулярного аппарата - Гирскоп

- Тренажер Лупинг-качели (рис.2). Лупинг-качели предназначен для тренировки в условиях перегрузки, тренировки вестибулярного аппарата летчиков, парашютистов. Тренажером предусмотрено вращение в двух плоскостях одновременно или в одной плоскости в режиме ограничения вращения во второй плоскости. Вращение создается силами спортсмена.

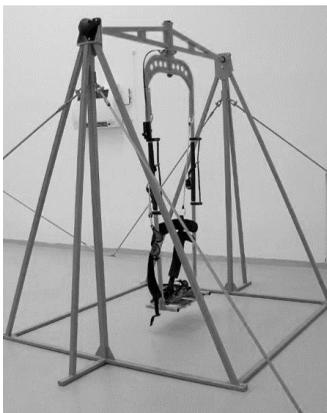


Рис. 2. Тренажер Лупинг-качели

- Тренажер для равновесия (рис.3). Тренажер для равновесия изготовлен в виде полусферы с натянутыми на ней стропами.

Предназначен для профессиональных спортсменов или в качестве реабилитационного оборудования.



Рис. 3. Тренажер для равновесия

Между тем, анализ литературных и интернет данных показывает, что эксплуатационные возможности тренажеров используются далеко не полностью. В большинстве тренажеров используется ручной привод, а также нет возможности регулирования режимов тренировок. Поэтому нами была поставлена задача повышения эксплуатационных и технических возможностей тренажера вестибулярного аппарата.

Нами предлагается тренажер вестибулярного аппарата (рис.4), который может применяться как для спортсменов, так и для летчиков, космонавтов.

Тренажер вестибулярного аппарата состоит из рамы 1, кресла 2, где располагается человек. Это кресло с одной стороны имеет шарнирное соединение с планетарным механизмом, а с другой стороны связан с двумя планетарно-рычажными механизмами. Один из которых механизмов - приводной и кинематически связан с электродвигателем 3 и планетарным однорядным редуктором 4 с возможностью разностороннего вращения относительно друг друга. А второй планетарно-рычажный механизм соединен с креслом при помощи шарниров с плоским ведущим кривошипом 6 и установлен на валу и расположен внутри полого вала ведущего стержня

12, который через плоский шатун 11 соединен с креслом 2. Технический результат достигается тем, что электродвигатель снабжен частотным преобразователем, управляемым компьютером, для регулирования и управления многорежимностью разнонаправленных и равномерных ускорений.

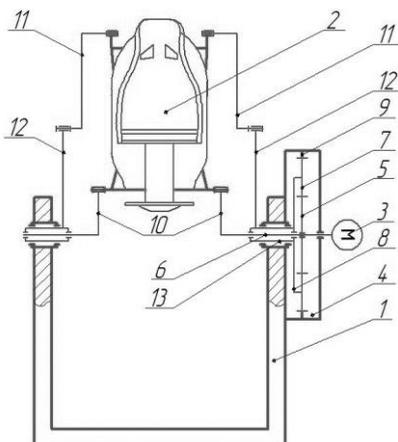


Рис. 4. Тренажер вестибулярного аппарата

Тренажер вестибулярного аппарата работает следующим образом:

Тренирующийся садится в кресло 2 и с помощью ремней прикрепляет ноги к подножке, затем пристегивает туловище с помощью пояса к спинке кресла и плечевые суставы перекрестными ремнями, закрепленными на спинке кресла с помощью установочных отверстий. Проверив надежность крепления запускают электродвигатель 3. Вращательное движение от электродвигателя 3 передается планетарному однорядному редуктору 4, а именно с помощью центрального колеса 5, сателлитов 7, водило 8 и венца 9 вращательное движение передается через вал ведущего кривошипа 6 и через вал ведущего стержня 13 к плоскому ведущему кривошипу 10 и плоскому ведущему стержню 12. Плоский ведущий стержень 12 передает движение шатуну 11, а шатун 11 и плоский ведущий кривошип 10 приводят в движение кресло 2. При этом кресло 2,

вращается вокруг своей оси и получает пространственные планетарно-качательные вращения за счет разносторонних и равномерных вращений плоских ведущих кривошипов 10 и плоских ведущих стержней 12, производя воздействие разнонаправленных и равномерных ускорений на кресло 2, в котором находится человек, тем самым происходит тренировка его вестибулярного аппарата.

Если рассматривать технические составляющие такого тренажера, он является более эффективным и качественным из-за возможности устройства сообщать разнонаправленные и равномерные ускорения за счет пространственного планетарно-качательного вращения планетарно-рычажного механизма [3-7]. А снабжение электродвигателей частотными преобразователями позволит производить регулирование скоростей вращения, тем самым расширять технологические возможности установки путем обеспечения многорежимности.

В наше время существует огромный спектр вестибулярных аппаратов. У всех этих аппаратов есть свои положительные и отрицательные стороны. И в основном они рассматривают небольшой круг возможностей использования этого механизма. Предложенный нами тренажер, может охватывать различное применение аппарата, он может быть предназначен как для спортсменов, так и для летчиков.

Таким образом, на основании данного обзора можно сделать следующие выводы:

- Тренажер вестибулярного аппарата позволяет производить тренировку в разных режимах, и позволяет сообщать спортсмену разнонаправленные и равномерные ускорения.

- Также электродвигатель снабжен частотным преобразователем, управляемым компьютером, для регулирования и управления многорежимностью разнонаправленных и равномерных ускорений.

Список литературы

1. Ассоциация экспериментальной авиации: [сайт] URL: <http://www.reaa.ru/cgi-bin/yabbA/YaBB.pl?num=1395231517>

2. Производственная компания Гарант: [сайт] URL: <http://firma-garant1.ru/shop/po-vidam-sporta/luping-lopung/>

3 *Пат. 2547018* Российская Федерация, МПК В01F7/30 Рычажно-планетарный смеситель // Исянов И. Р., Яруллин М. Г., Хабибуллин Ф.Ф., Мингазов М.Р., опубл.10.04.2015 Бюл. № 10.

4. *Пат. 154612* на полезную модель МПК F16H 21/10, F16H 21/26. Плоский дифференциальный шарнирно-рычажный механизм, Яруллин М.Г., Мингазов М.Р., Исянов И.Р., опубл. 27.08.2015 Бюл. № 24.

5. *Пат. 153259* на полезную модель МПК В24В 31/023 Устройство для галтовки безразмерных деталей / Яруллин М. Г., Исянов И. Р., Хабибуллин Ф.Ф., Мингазов М.Р.// опубл. 10.07.2015 Бюл. № 19.

6. *Яруллин М.Г., Исянов И.Р.* Двухподвижный пятизвенный рычажный механизм.// Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. - 2015. №2. - с. 97-102. ISSN 2078-6255.

7. *Яруллин М.Г., Исянов И.Р., Мудров А. П.,* Кинематика плоского двухподвижного пятизвенного рычажного механизма // Современное машиностроение: Наука и образование: Материалы 5-й Междунар. науч.-практ. конференции. / Под ред. М.М. Радкевича и А.Н. Евграфова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – С.297-305, ISSN 2223-0807.

SIMULATOR VESTIBULAR APPARATUS

Efremov V.

Supervisors: I. Isyanov

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Literary and Internet review of existing simulators of the vestibular apparatus was carried out. The proposed device simulator, the vestibular apparatus and described the principle of operation.

УДК 531/534

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГИБОВ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

Журахонов Ш.Р.

Научный руководитель: О.А. Саченков, к.ф.-м.н.
(Казанский Федеральный Университет, Казань)

В работе рассмотрена методика для расчета жесткости ступенчатых валов. Приведен пример расчета для заданной геометрии.

При проектировании валов редукторов, роторов актуальной задачей является оценка жесткости, что принципиально сказывается на частотных характеристиках всего изделия [2-4] и, как следствие, определяется условия для сборки всей конструкции[1]. Конструктивно вышеуказанные валы обладают ступенчатой формой. В данной работе рассмотрена методика, позволяющая оценивать жесткость ступенчатых валов. Особенностью методики является аналитичность полученных выражений.

Рассмотрим уравнение упругой линии. в случае когда тело имеет непостоянное сечение момент инерции суть функция, зависящая от x .

$$E \cdot J(x) \cdot Y''(x) = M(x)$$

Так как в работе рассматриваются ступенчатые валы, введем фильтрующую функцию

$$H(x, x_0, x_1) = \begin{cases} 1, & x \in [x_0, x_1] \\ 0, & x \notin (x_0, x_1) \end{cases}$$

Тогда моменты инерции всего вала будут представимы в виде:

$$J(x) = \sum_{i=1}^N J^i(x) \cdot H^i(x) = \sum_{i=1}^N J^i \cdot H^i(x),$$

где $H^i(x)$ - обозначение для фильтрующей функции на i -ом участке (см. рис.1). Таким же образом представима функция для изгибающего момента (см. рис.1):

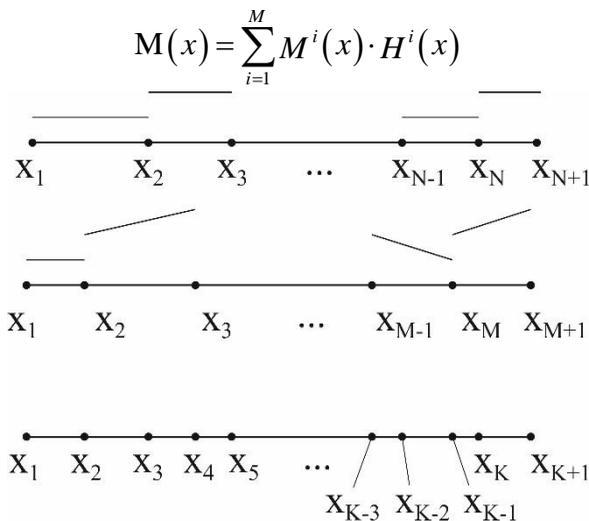


Рис. 1. Схема разбиения вала на участки

Объединяя эти два множества разбиения, получим разложение для функции момента инерции поперечного сечения и изгибающего момента на одних и тех же участках:

$$\left\{ \begin{array}{l} M(x) = \sum_{i=1}^K M^i(x) \cdot H^i(x) \\ J(x) = \sum_{i=1}^K J^i \cdot H^i(x) \end{array} \right.$$

$$\{x\}^K = \{x\}^M \cup \{x\}^N$$

Так как в практике расчетов валов нагружение осуществляет точечной силой и/или моментом, то изгибающий момент суть линейная функция, а значит она представление в виде:

$$M^i(x) = a_i x + b_i$$

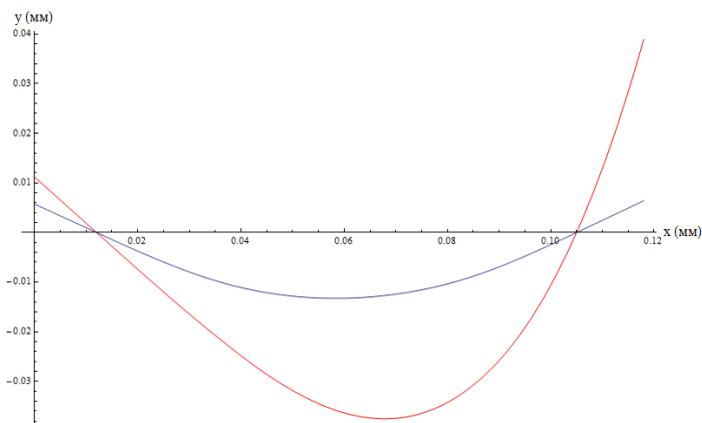


Рис. 2. Результаты вычислений линии прогибов: красная - для постоянного сечения, синия – по описанной методике

В этом случае можно проинтегрировать уравнение упругой балки на каждом участке, а в точках x^k наложить условия совместности, что приведет нас к системе линейных алгебраических уравнений относительно констант интегрирования.

$$A \cdot C = B,$$

Здесь матрица A содержит моменты инерции и координаты участков, столбец B - содержит параметры нагружения, моменты инерции и координаты участков, а вектор C – вектор неизвестных. Указанная система размерности $k \times k$, где k – количество точек разбиения. Из условия совместности можно получить $2k-2$ уравнения, не хватающие уравнения можно получить из граничных условий.

В качестве примера был проведен расчет вала со следующими геометрическим характеристикам:

$$x=(0,0.012,0.017,0.04,0.063,0.074,0.087,0.101,0.105,0.118)$$

$$d=(0.017,0.017,0.019,0.02,0.02,0.019,0.019,0.017,0.017)$$

На вал действует две нагрузки $P_1=P_2=900$ Н, в точках x_4, x_7 соответственно. К указанному валу была применена, описанная выше методика, также был проведен расчет этого же вала по наибольшему сечению. Было получено, что прогибы вала с учетом ступенчатости меньше, чем «эквивалентного» вала наибольшего сечения (см. рис. 2а). Более того, характер ступенчатости вала ска-

зывается на прогибах, а значит, возможно, конструирование вала с учетом этого эффекта для увеличения жесткости конструкции.

Список литературы

1. *Киселева Е.Н.* Расчет зависимого допуска соосности для валов со ступенчатым уменьшением размера // Евразийское Научное Объединение. 2015. Т. 1. № 7 (7). С. 17-18.

2. *Перепелица А.Д., Чистякова Т.Б.* Разработка математической модели вала поршневого компрессора как ступенчатой статически неопределимой конструкции // Компрессорная техника и пневматика. 2011. № 7. С. 26.

3. *Чемезов Д.А., Коваленко Н.О.* Расчет напряженно-деформированного состояния нагруженных ступенчатых валов в программе Ansys harmonic response // Theoretical & Applied Science. 2014. № 11 (19). С. 30-40.

4. *Ярошевич Е., Жур К.* Частотные уравнения продольных и поперечных колебаний ступенчатых стержней и валов // Механика машин, механизмов и материалов. 2013. № 1 (22). С. 36-40.

METHODOLOGY OF CALCULATION OF RIGIDITY OF STEP SHAFT

Zhurakhonov S.

Supervisor: O. Sachenkov, Candidate of Physico-mathematical Sciences
(Kazan Federal University, Kazan)

In work the technique for calculation of stiffness of step shafts is considered. An example of calculation for a given geometry is given.

УДК 62-235.1/.58

О ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕДУКТОРОВ В СРЕДЕ КОМПАС 3D

Закиров А.Р.

Научный руководитель: Ф.Ф. Хабибуллин
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассмотрены конструкции цилиндрического и червячного редукторов. Изучены основные конструктивные особенности планетарного механизма. Изучены конструкции, в которых применены планетарные механизмы.

Введение

Редуктор – это механизм, передающий или преобразующий крутящий момент, с одного вала на другой. Основные характеристики редуктора — КПД, передаточное отношение, передаваемая мощность, максимальные угловые скорости валов, количество ведущих и ведомых валов, тип и количество передач и ступеней [1]. Обычно редуктором называют устройство, преобразующее высокую угловую скорость вращения входного вала в более низкую на выходном валу, повышая при этом вращающий момент, такой редуктор обычно называют демультипликатором, а редуктор, который преобразует низкую угловую скорость в более высокую обычно называют мультипликатором [2]. Тип редуктора определяется составом передач, порядком их размещения в направлении от ведущего – быстроходного вала к ведомому – тихоходному валу и положением колёс в пространстве. Редукторы классифицируют по следующим основным признакам [3]:

- 1) по типу передачи – зубчатые, червячные, зубчато-червячные;
- 2) по числу ступеней – одноступенчатые, двухступенчатые, и т. д.;
- 3) по типу зубчатых колёс – цилиндрические, конические, коническо-цилиндрические и т. д.;

4) по относительному расположению валов в пространстве - горизонтальные, вертикальные.

Цилиндрический, червячный редукторы

Цилиндрические редукторы получили широкое распространение в машиностроении благодаря широкому диапазону передаваемых мощностей, долговечности, простоте изготовления. Червячный редуктор является одним из компонентов механического или электромеханического привода, в его задачи входит увеличение крутящего момента на выходном валу при сохранении мощности привода. На рисунке 1 приведены 3D-модели редукторов, спроектированных в Компас 3D 16.1 [4, 5].

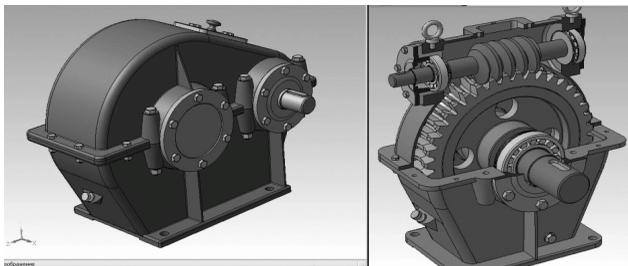


Рис. 1. 3D-модели редукторов: а) цилиндрический редуктор
б) редуктор червячный одноступенчатый

Планетарный редуктор

Планетарный редуктор представляет собой один из вариантов механических редукторов (см. рис.2.). Причина использования такого названия редуктора заключается в применении планетарной передачи, которая расположена в редукторе. Именно она отвечает за передачу, а также преобразование крутящего момента. Планетарные редукторы могут иметь одну или несколько планетарных механизмов.



Рис. 2. Планетарный редуктор

Солнечная шестерня в таком редукторе расположена в центральной части, а на его периферии находится коронная шестерня. Кроме этого, в нем используются сателлиты - небольшие шестерни, которые установлены между коронной и солнечной, а также имеют подвижную ось (см. рис.3).

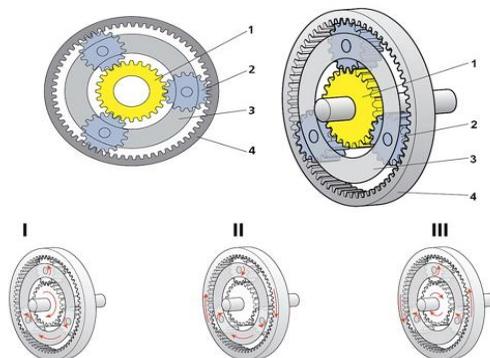


Рис. 3. Устройство планетарной передачи: 1) солнечная шестерня; 2) сателлитовая шестерня; 3) водило; 4) коронная шестерня

I. Коронная шестерня неподвижна, солнечная шестерня вращается, передаточное отношение “большое”;

II. Солнечная шестерня неподвижна, коронная шестерня вращается, передаточное отношение “маленькое”;

III. Водило неподвижно, солнечная шестерня вращается, направление вращения “обратное”.

Применение планетарных редукторов

В процессе вращения спутники передают вращение коронной шестерне, после чего начинает вращаться ступица. Крутящий момент возрастает в такое количество раз, в какое число зубьев на шестерне солнечной является меньшим по сравнению с числом зубьев на коронной шестерне. На рисунке 4 показано, что в ведущих мостах грузовиков МАЗ, троллейбусов ЗиУ-9, автобусов Икарус, тракторов К-700 и Т-150К используются планетарные редукторы, которые осуществляют передачу крутящего момента к колесной ступице [6-10].

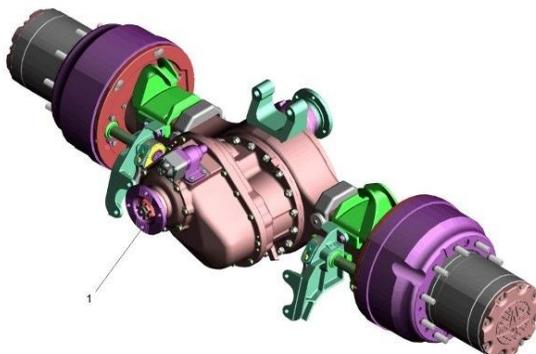


Рис. 4. Ведущий мост грузовиков МАЗ, троллейбусов ЗиУ-9, автобусов Икарус, тракторов К-700 и Т-150К

Благодаря использованию такого редуктора в бортовой передаче появляется возможность сделать диаметр основной передачи меньшим, в результате чего возрастает клиренс. Кроме этого, полуоси имеют меньший диаметр, что позволяет спроектировать их на менее высокий крутящий момент [11].

В ведущем мосту автомобиля планетарные передачи могут не использоваться, хотя крутящий момент может быть одинаковым. К примеру, мост грузовых машин КамАЗ имеет практически такие же показатели, как у моста МАЗа, однако на КамАЗе используется двойная основная передача, в то время, как на МАЗе она яв-

ляется одинарной. В автоматических трансмиссиях передача крутящего момента осуществляется от вала с шестерней солнечной на вал, который сопряжен с водилом.

Заключение

Рассмотрены конструкции редукторов, спроектированы 3D-модели цилиндрического и червячного редукторов. Изучено конструкция и свойства планетарного механизма. Изучены направления развития конструкций планетарных редукторов и их применение. Обзор данных редукторов дает возможность оценить целесообразность того или иного вида передачи движения, могут указать возможные пути построения более сложных схем или дать начальное представление о создании оптимальных вариантов схем.

Список литературы

1. Краузе Г.Н., Кутилин Н.Д., Сыцко С.А. Редукторы. Справочное пособие, 2-е издание 1972
2. Ануриев В.И. “Справочник - Машиностроителя” в 3-х томах. т. 3 - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение., 82.
3. Длоугий В.В. “Приводы машин: Справочник”/ В.В. Длоугий, Т.И. Муха: Под общей ред. В.В. Длоугого - 2-е изд. перераб. и доп. - Л.: Машиностроение., Ленинградское отделение, 1982. - 383 с.: ил.
4. Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф. Теоретические и практические условия проворачиваемости механизма Беннетта // Современное машиностроение: Наука и образование: Материалы 5-й Международной науч.-практ. конференции. / Под ред. М.М. Радкевича и А.Н. Евграфова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. –С 306-316.
5. Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф. К обоснованию структурных параметров механизмов приводов двухподвижного дезинтегратора // XII Международная научно-техническая конференция "ВИБРАЦИЯ-2016". 18.05.-20.05. 2016, С.263-269, ISBN 978-5-7681-1116-8.
6. Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф. Кинематика двухподвижного дезинтегратора с приводом на базе пространственных 4R-механизмов. // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. -2015. №1. с.108-111.

7. *Yarullin M.G., Khabibullin F.F., Isyanov I.R.* Nonlinear crushing dynamics in two-degree of freedom disintegrator based on the Bennett's linkage // *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 8, 2016, p. 477-482, ISSN 2345-0533.

8. *Хабибуллин Ф.Ф., Яруллин М.Г.* О динамике разрушения песчинки в конусном дезинтеграторе/ В сборнике: Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности Международная научно-практическая конференции. 2014. С. 455-458.

9. Пат. 2581487 Российская Федерация, МПК В02С 2/10. Дезинтегратор неравномерного дробления/Яруллин М. Г., Мингазов М.Р., Исянов И.Р., Хабибуллин Ф.Ф.//опубл. 20.04.2016. Бюл. №11.

10. Пат. 2538389 Российская Федерация, МПК В02С2/04, В02С13/20. Дезинтегратор/Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф., Исянов И. Р.//опубл. 10.12.2014. Бюл. №1.

11. *Соломахо В.Л.* и другие "Справочник конструктора - приборостроителя." -Мн.:Выш. шк., 1988.

ABOUT DESIGNING REDUCTORS IN THE MEDIUM COMPASS 3D

Zakirov A.

Supervisor: F. Khabibullin

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The design of cylindrical and worm gearboxes is considered. The basic design features of the planetary mechanism are studied. The structures in which planetary mechanisms are applied.

УДК 621.01+621.837.3

КИНЕМАТИКА ДВУХПОДВИЖНОГО ПЛОСКОГО ПЯТИЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА

Исянов И.Р.

Научный руководитель: М.Г. Яруллин, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье составлены математические модели кинематики двухподвижного плоского пятизвенного механизма в удобном виде для инженерных расчетов. Полученные с помощью системы символьных вычислений и CAD/CAE анализа, результаты кинематики представлены в виде графиков, проанализированы и сравнены.

Введение. Одним из путей совершенствования современных машин является применение в них механизмов, имеющих улучшенные кинематические параметры (характеристики). Кинематика одноподвижных механизмов изучена достаточно полно. Исследование же двухподвижных механизмов встречается гораздо реже. Несмотря на кажущуюся простоту их структуры, кинематика двухподвижных механизмов управляемых двумя ведущими звеньями весьма интересна и сложна. Также механизмы могут быть успешно использованы и могут являться весьма перспективным [1-4], в связи их малоизученностью.

Структура и подвижность. Рассмотрим структурную схему двухподвижного плоского рычажного пятизвенного механизма (рис.1). Он образован на основе известного шарнирного четырехзвенника путем образования в шарнире *A* соосных двух вращательных пар вместо одной и превращения в стойку вала этих кинематических пар [5]. Таким образом, в новом механизме по сравнению одноподвижным четырёхзвенником имеем: первое звено остается ведущим кривошипом, шатун 2 остается шатуном, звено 3 – балансир становится также шатуном, звено 4 со стойки превращается во второй ведущий кривошип, а вал соосных вращательных кинематических пар в шарнире *A* преобразуется в стойку.

Степень свободы, полученного механизма определяется по известной формуле (1) Чебышева и будет равна [6]:

$$W = 3(m - 1) - 2p_1 - p_2 = 3(5 - 1) - 2 \times 5 = 2. \quad (1)$$

где: m – число звеньев;

p_1 – одноподвижных кинематических пар;

p_2 – число двухподвижных пар.

Для практического использования этого механизма весьма интересными являются характерные точки – E и K , на которых могут быть установлены рабочие органы. Функции положения звеньев и характерных точек механизма определяются от входных координат φ_1 и φ_2 (рис.1), т.е. представлены как функции от времени $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$ [7].

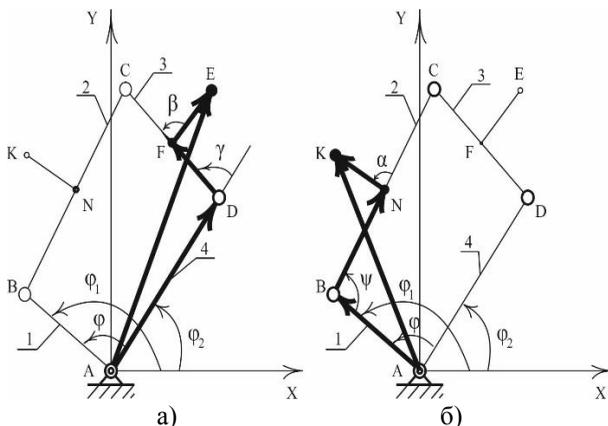


Рис. 1. Векторные контуры характерных точек:
 а) точки E «A-D-F-E-A» б) точки K «A-B-N-K-A»

Кинематика двухподвижного пятизвенника. Для нахождения скоростей и ускорений необходимо решить задачу определения положений характерных точек механизма. Поскольку эти кинематические параметры являются справочным материалом для дальнейших исследований, прежде всего динамики, как механизма, так и технологических процессов устройства на базе этого двухподвижного пятизвенного рычажного механизма. Задача решается, если звенья стержневых механизмов заменить

соответствующими векторами и на их основе построить векторный контур [8]. Векторная интерпретация звеньев механизма изображена на рисунке 1.

Рассмотрим замкнутый векторный контур A-D-F-E-A (рис.2а) и спроецируем его на координатные оси OX и OY. Положение характерной точки E будет определяться координатами X_E и Y_E . Тогда векторный контур рассматривается как сумма векторов[9]:

$$\vec{AD} + \vec{DF} + \vec{FE} = \vec{AE}. \quad (2)$$

Получим тригонометрические уравнения для кинематического анализа характерной точки E спроецировав выражение (2) на оси неподвижной системы координат OXY, при этом учитывая, что $AE_X = X_E$ и $AE_Y = Y_E$:

$$\begin{cases} X_E = AD \cos \varphi_2 + DF \cos(\gamma + \varphi_2) + FE \cos(\beta + \gamma + \varphi_2); \\ Y_E = AD \sin \varphi_2 + DF \sin(\gamma + \varphi_2) + FE \sin(\beta + \gamma + \varphi_2). \end{cases} \quad (3)$$

Для этой системы уравнений (3) принято, что $\varphi_2 = \omega_2 \cdot t$, причем $\omega_2 = const$; а $\beta = 90^\circ$ - установлен конструктивно для удобства, т.е. отросток FE жестко связан со звеном CD перпендикулярно. Угол γ имеет зависимость от входных координат φ_1 и φ_2 , где $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ и вычисляется выражением:

$$\gamma = 2 \tan^{-1} \cdot \left(\frac{AB \sin \varphi - \frac{1}{2} BC \sqrt{4 - \frac{(-AB^2 - AD^2 + BC^2 + 2AD \cdot AB \cos \varphi + CD^2)^2}{BC^2 \cdot CD^2}}}{AB \cos \varphi + CD - AD - \frac{1 - AB^2 - AD^2 + BC^2 + 2 \cdot AD \cdot AB \cos \varphi + CD^2}{CD}} \right). \quad (4)$$

Здесь также принято, что $\varphi_1 = \omega_1 \cdot t$ и $\omega_1 = const$. Значения ω_1 и ω_2 – в расчетах принимается конструктивно в зависимости от необходимого технологического режима работы механизма устройства.

Продифференцировав систему уравнений (3) по времени и учитывая, что $\cos \beta = 0$, $\sin \beta = 1$ и выражение (4) получим проекции скорости характерной точки E на координатные оси OXY:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_E^X = AD(-\sin \varphi_2)\varphi_2' + DF(-\sin \gamma \cos \varphi_2 \gamma' + \cos \gamma (-\sin \varphi_2)\varphi_2') \\ - DF(\cos \gamma \sin \varphi_2 \gamma' - -\sin \gamma \cos \varphi_2 \varphi_2') + FE(-\sin \gamma \sin \varphi_2 \gamma' + \\ + \cos \gamma \cos \varphi_2 \varphi_2') + FE(\cos \gamma \cos \varphi_2 \gamma' - -\sin \gamma \sin \varphi_2 \varphi_2'); \\ V_E^Y = AD \cos \varphi_2 \varphi_2' + DF(-\sin \gamma \sin \varphi_2 \gamma' + \cos \gamma \cos \varphi_2 \varphi_2') + \\ + DF(\cos \gamma \cos \varphi_2 \gamma' - \sin \gamma \sin \varphi_2 \varphi_2') - FE(-\sin \gamma \cos \varphi_2 \gamma' - \\ \cos \gamma \sin \varphi_2 \varphi_2') + FE(\cos \gamma \sin \varphi_2 \gamma' + \sin \gamma \cos \varphi_2 \varphi_2'). \end{array} \right. \quad (5)$$

Аналогичным образом получим уравнение проекции ускорения точки E :

$$\left\{ \begin{array}{l} a_E^X = (V_E^X)' = AD(-\cos \varphi_2)(\varphi_2')^2 + DF(-\cos \gamma \cos \varphi_2 (\gamma')^2 + 2 \sin \gamma \\ \sin \varphi_2 \gamma' \varphi_2' - \sin \gamma \cos \varphi_2 \gamma'' - \cos \gamma \cos \varphi_2 (\varphi_2')^2 + DF(\sin \gamma \sin \varphi_2 (\gamma')^2 \\ - 2 \cos \gamma \cos \varphi_2 \gamma' \varphi_2' - \cos \gamma \sin \varphi_2 \gamma'' - \sin \gamma \sin \varphi_2 (\varphi_2')^2) + FE((- \cos \gamma \\ \sin \varphi_2 (\gamma')^2 - 2 \sin \gamma \cos \varphi_2 \varphi_2' \gamma' - \sin \gamma \sin \varphi_2 \gamma'' - \cos \gamma \sin \varphi_2 (\varphi_2')^2) \\ + FE(-\sin \gamma \cos \varphi_2 (\gamma')^2 - 2 \cos \gamma \sin \varphi_2 \varphi_2' \gamma' + \cos \gamma \cos \varphi_2 \gamma'' \\ - \sin \gamma \cos \varphi_2 (\varphi_2')^2); \\ a_E^Y = (V_E^Y)' - AD \sin \varphi_2 (\varphi_2')^2 + DF(-\cos \gamma \sin \varphi_2 (\gamma')^2 - 2 \sin \gamma \\ \gamma' \cos \varphi_2 \varphi_2' - \sin \gamma \sin \varphi_2 \gamma'' - \cos \gamma \sin \varphi_2 (\varphi_2')^2) - DF(\sin \gamma \\ \cos \varphi_2 (\gamma')^2 + 2 \cos \gamma \sin \varphi_2 \varphi_2' \gamma' - \cos \gamma \cos \varphi_2 \gamma'' + \sin \gamma \cos \varphi_2 (\varphi_2')^2) \\ - FE(-\cos \gamma \cos \varphi_2 (\gamma')^2 + 2 \sin \gamma \sin \varphi_2 \gamma' \varphi_2' - \sin \gamma \cos \varphi_2 \gamma'' \\ - \cos \gamma \cos \varphi_2 (\varphi_2')^2) + FE(\sin \gamma \sin \varphi_2 (\gamma')^2 - 2 \cos \gamma \cos \varphi_2 \gamma' \varphi_2' - \\ - \cos \gamma \sin \varphi_2 \gamma'' - \sin \gamma \sin \varphi_2 (\varphi_2')^2). \end{array} \right. \quad (6)$$

Поскольку дифференцирование выше указанных тригонометрических уравнений (4-6) является достаточно трудоемким, для решения этих уравнений была использована система символьных вычислений Maple 17 и САД/САЕ анализа в системе SolidWorks. Результаты решений уравнений представлены на графиках, полученных в двух разных системах вычислений (рис 2).

ПОДСЕКЦИЯ 5.7. ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

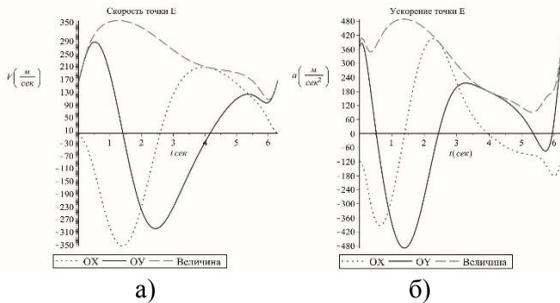


Рис. 2. Графики кинематики характерной точки E, полученных в системе символьных вычислений Maple 17 и в системе SolidWorks
 а) –графики скорости б) – графики ускорения

Результаты расчетов свойств кинематических параметров на промежутке $0 \leq t \leq 6.3$ (сек) представлены в виде графиков на рисунке 2. Здесь для примера, принято $\omega_1 = 2 \text{ c}^{-1}$, $\omega_2 = 1 \text{ c}^{-1}$ (для простоты и удобства расчетов) и $t=6,3$ сек., как время, за которое характерная точка E механизма совершает полный цикл движения в неподвижной системе координат.

Для определения закона движения другой характерной точки K рассмотрен векторный контур A-B-N-K-A, имеющий уравнение:

$$\overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BN} + \overrightarrow{NK} = \overrightarrow{AK} \quad (7)$$

Это уравнение (7) в проекциях на оси системы координат OX и OY имеет вид:

$$\begin{cases} X_K = AB \cos \varphi_1 + BN \cos(\psi + \varphi_1) + NK \cos(\alpha + \psi + \varphi_1); \\ Y_K = AB \sin \varphi_1 + BN \sin(\psi + \varphi_1) + NK \sin(\alpha + \psi + \varphi_1). \end{cases} \quad (8)$$

В уравнении (8) принят угол $\varphi_1 = \omega_1 \cdot t$, который является входной координатой ведущего звена AB, где $\omega_1 = const$. Отросток NK взят перпендикулярно к шатуну, а угол ψ имеет зависимость от входных координат φ_1 и φ_2 ведущих звеньев AB и AD соответственно, также от противоположащих углов $\angle ADC$ и $\angle DCB$ и выражается уравнением:

$$\psi = 2\pi - \varphi - \cos^{-1} \left(\frac{BC^2 - AD^2 - AB^2 + k + CD^2}{2 \cdot BC \cdot CD} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{AB \sin \varphi}{AD - AB \cos \varphi} \right) - \cos^{-1} \left(\frac{CD^2 - BC^2 + AD^2 + AB^2 - k}{2CD \cdot \sqrt{AD^2 + AB^2 - k}} \right), \quad (9)$$

где применены следующие сокращения:

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2; k = 2 \cdot AD \cdot AB \cos \varphi.$$

Дифференцируя уравнение (8) по времени получим проекции скорости характерной точки **K** на координатные оси OX и OY:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_K^X = AB (-\sin \varphi_1) \varphi_1' - BN(-\sin \psi \cos \varphi_1 \psi' + \cos \psi (-\sin \varphi_1) \varphi_1') \\ + BN(\cos \psi \sin \varphi_1 \psi' + \sin \psi \cos \varphi_1 \varphi_1') + NK(-\sin \psi \sin \varphi_1 \psi' \\ + \cos \psi \cos \varphi_1 \varphi_1') + NK(\cos \psi \cos \varphi_1 \psi' - \sin \psi \sin \varphi_1 \varphi_1'); \\ V_E^Y = AB \cos \varphi_1 \varphi_1' - BN(-\sin \psi \sin \varphi_1 \psi' + \cos \psi \cos \varphi_1 \varphi_1') - \\ - BN(\cos \psi \cos \varphi_2 \psi' - \sin \psi \sin \varphi_1 \varphi_1') - NK(-\sin \psi \cos \varphi_1 \psi' - \\ - \cos \psi \sin \varphi_1 \varphi_1') + NK(\cos \psi \sin \varphi_1 \psi' + \sin \psi \cos \varphi_1 \varphi_1'). \end{array} \right. \quad (10)$$

Продифференцируем полученное выражение (10) и определим ускорение точки **K** в проекциях на оси координатной системы OX и OY:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_K^X = (V_K^X)' = AB (-\cos \varphi_1)(\varphi_1')^2 + BN(\cos \psi \cos \varphi_1 (\psi')^2 - 2\sin \psi \\ \sin \varphi_1 \psi' \varphi_1' + \sin \psi \cos \varphi_1 \psi'' + \cos \psi \cos \varphi_1 (\varphi_1')^2 + \cos \psi \sin \varphi_1 \varphi_1'') \\ + BN(-\sin \psi \sin \varphi_1 (\psi')^2 + 2 \cos \psi \cos \varphi_1 \psi' \varphi_1' + \cos \psi \sin \varphi_1 \psi'' - \\ - \sin \psi \sin \varphi_1 (\varphi_1')^2 + \sin \psi \cos \varphi_1 \varphi_1'') - NK(\cos \psi \sin \varphi_1 (\psi')^2 + \\ + 2 \sin \psi \cos \varphi_1 \psi' \varphi_1' + \sin \psi \sin \varphi_1 \psi'' + \cos \psi \sin \varphi_1 (\varphi_1')^2 + \cos \psi \\ \cos \varphi_1 \varphi_1'') - NK(\sin \psi \cos \varphi_1 (\psi')^2 + 2 \cos \psi \sin \varphi_1 \psi' \varphi_1' - \\ - \cos \psi \cos \varphi_1 \psi'' + \sin \psi \cos \varphi_1 (\varphi_1')^2 + \sin \psi \sin \varphi_1 \varphi_1''); \\ a_K^Y = (V_K^Y)' = -AB \sin \varphi_1 (\varphi_1')^2 + BN(\cos \psi \sin \varphi_1 (\psi')^2 + 2 \sin \psi \\ \cos \varphi_1 \psi' \varphi_1' + \sin \psi \sin \varphi_1 \psi'' + \cos \psi \sin \varphi_1 (\varphi_1')^2 - \cos \psi \cos \varphi_1 \varphi_1'') \\ + BN(\sin \psi \cos \varphi_1 (\psi')^2 + 2 \cos \psi \sin \varphi_1 \psi' \varphi_1' - \cos \psi \cos \varphi_1 \psi'' + \\ + \sin \psi \cos \varphi_1 (\varphi_1')^2 + \sin \psi \sin \varphi_1 \varphi_1'') + NK(\cos \psi \cos \varphi_1 (\psi')^2 - \\ - 2\sin \psi \sin \varphi_1 \psi' \varphi_1' + \sin \psi \cos \varphi_1 \psi'' + \cos \psi \cos \varphi_1 (\varphi_1')^2 + \\ + \cos \psi \sin \varphi_1 \varphi_1'') + NK(-\sin \psi \sin \varphi_1 (\psi')^2 + 2 \cos \psi \cos \varphi_1 \psi' \varphi_1' \\ + \cos \psi \sin \varphi_1 \psi'' - \sin \psi \sin \varphi_1 (\varphi_1')^2 + \sin \psi \cos \varphi_1 \varphi_1''). \end{array} \right. \quad (11)$$

На основании выведенных систем уравнений (8-11) были получены графики скоростей и ускорений (рис.3) в системе символьных вычислений Maple 17 и в системе SolidWorks:

ПОДСЕКЦИЯ 5.7. ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА

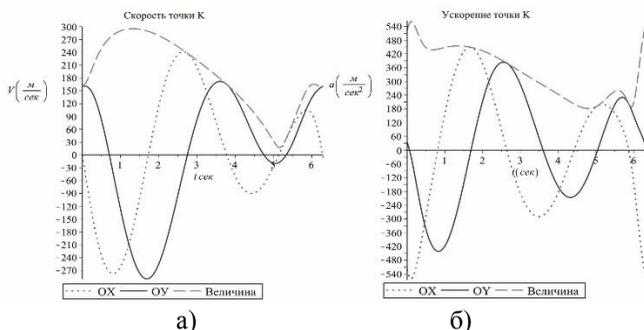


Рис. 3. Графики кинематики характерной точки К, полученных в системе символьных вычислений Maple 17 и в системе SolidWorks
а) –графики скорости б) – графики ускорения

Дифференцируя уравнения (4) и (9) по времени t можно найти уравнения для определения угловых скоростей, а затем и ускорений звеньев BC и CD:

$$\omega_{BC} = \frac{d\psi}{dt}; \omega_{CD} = \frac{d\gamma}{dt}; \varepsilon_{BC} = \frac{d^2\psi}{dt^2}; \varepsilon_{CD} = \frac{d^2\gamma}{dt^2}. \quad (12)$$

Полученные уравнения являются громоздкими. Поэтому на рисунке (4 а,б) представлены результаты расчетов угловых скоростей и ускорений на промежутке времени $0 \leq t \leq 6.3$ (сек), решенных с помощью двух разных систем вычислений:

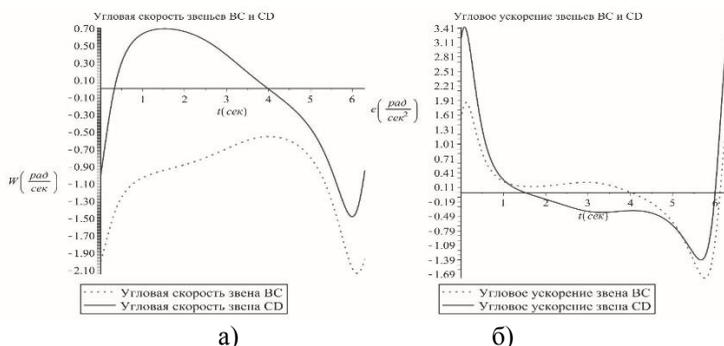


Рис. 4. Графики кинематики звеньев BC и CD, полученных в системе символьных вычислений Maple 17 и в системе SolidWorks:
а) –графики угловой скорости б) – графики углового ускорения

Выводы. На основании анализа графиков кинематики характерных точек и звеньев (рис. 2-4) установлено, что расчеты кинематических параметров линейных и угловых скоростей и ускорений, вычисленных двумя различными способами, полностью совпадают между собой. Это показывает корректность полученных нами аналитических уравнений.

На основании анализа графиков получены следующие выводы:

1. Характерные точки E и K движутся с переменными скоростями и ускорениями.

2. Равномерное вращательное движение ведущих звеньев AB и AD преобразуется в неравномерное сложное плоское планетарное движение звеньев BC и CD с переменными угловыми скоростями и ускорениями относительно неподвижной системы координат.

3. Полученные формулы и их результаты в виде графиков показывают, что характерные точки E и K двухподвижного плоского рычажного пятизвенного механизма совершают сложное планетарное движение.

4. Результаты расчетов полученных на основании решения уравнений кинематики показывают сложный характер движения, как характерных точек, так и шатунов, что является основой предполагать перспективность использования двухподвижного плоского пятизвенного рычажного механизма в качестве базовых механизмов.

Список литературы

1. Пат. 2547018 Российская Федерация, МПК В01F7/30 Рычажно-планетарный смеситель // Исянов И. Р., Яруллин М. Г., Хабибуллин Ф.Ф., Мингазов М.Р., опубл.10.04.2015 Бюл. № 10.

2. Пат. 2594302 РФ, МПК В24В31/023 Устройство для поверхностной безразмерной обработки деталей / Яруллин М. Г., Исянов И. Р., Хабибуллин Ф.Ф., Мингазов М.Р.// опубл. 10.08.2016 Бюл. № 22-8с.

3. Яруллин М.Г., Мингазов М.Р., Способ образования двух подвижных 5R-Механизмов, Научные труды III-й Международной

*ПОДСЕКЦИЯ 5.7. ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ
И МАШИН, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА*

научной конференции «Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении». – М. Издательский дом «Спектр», – с.380-382,2014.

4. *Артоболовский И.И.* Теория механизмов и машин // М. Наука, 1988 640 с.

5. *Яруллин М.Г., Исянов И.Р.* Двухподвижный пятизвенный рычажный механизм.// Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. - 2015. №2. - с. 97-102. ISSN 2078-6255.

6. *Коловский М.З., Евграфов А.Н., Семенов Ю.А., Слоущ А.В.* Теория механизмов и машин: Учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений // 3-е изд., испр. – М.: Изд. центр «Академия» - 2008 – 560 с.

7. *Яруллин М.Г., Исянов И.Р., Мудров А. П.,* Кинематика плоского двухподвижного пятизвенного рычажного механизма // Современное машиностроение: Наука и образование: Материалы 5-й Междунар. науч.-практ. конференции. / Под ред. М.М. Радкевича и А.Н. Евграфова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – С.297-305, ISSN 2223-0807.

**KINEMATICS OF THE TWO MOBILE
PLANAR FIVE-LINK MECHANISM**

Isyanov I.

Supervisors: M. Yarullin, Doctor of Technical Sciences, Professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Mathematical models of kinematics of a two-moving planar five-link mechanism are compiled in a convenient form for engineering calculations. Obtained using the system of symbolic calculations and CAD / CAE analysis, the results of kinematics are presented in the form of graphs, analyzed and compared.

УДК 621.01

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ ВЕСТИБУЛЯРНОГО АППАРАТА НА БАЗЕ МЕХАНИЗМА БЕННЕТТА

Рыжакова В.В.

Научный руководитель: И.Р. Исянов

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

В статье представлено устройство для тренировки вестибулярного аппарата на базе механизма Беннетта. Оно содержит кабину испытуемого, шарнирно соединенной звеньями, выполняющей сложные планетарно-пространственные движения. Устройство имеет оригинальный управляемый двухподвижный привод.

Введение: При подготовке летчиков, космонавтов и спортсменов проводятся тренировки вестибулярного аппарата на механических устройствах со сложным пространственным движением кабин. Аналогичные устройства так же используются в парках и зонах отдыха для развлечений. Существующие конструкции сложны и имеют, как правило, два и более привода, и многозвенные механизмы для сообщения кабине сложного движения. Кроме этого, механизмы содержат комбинацию шаровых, поступательных, вращательных, шаровых с пальцем шарниров, которые имеют низкий срок службы, и ограниченные силовые показатели.

В качестве примера можно рассмотреть «Устройство для тренировки вестибулярного аппарата» (рис.1), состоящее из рамы и стойки, на котором шарнирно установлено средство для размещения человека, представляющее собой кресло [1]. Боковины кресла являются водилами планетарного механизма с неподвижными зубчатыми солнечными колесами, закрепленными на стойках, и с зубчатыми колесами-сателлитами, установленных на концах коленчатого вала. Коленчатый вал смонтирован в боковинах кресла с помощью подшипников, в середине которого выполнена рукоятка в виде трубки. Движение кресла обеспечивается за счет вращения рукоятки испытуемым.

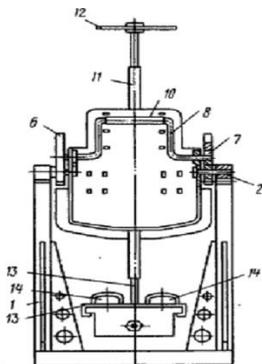


Рис. 1. Устройство для тренировки вестибулярного аппарата,
Авт. Св. №125844

Недостатком данного устройства является конструктивное выполнение, при котором испытуемый сам крутит ручной привод устройства и создает неравномерное и неконтролируемое только однонаправленное вращательное движение кресла, что снижает возможности тренажера вестибулярного аппарата. Отсутствие тормоза кресла может привести к потере сознания испытуемого. Таким образом, имеем два недостатка: низкий уровень безопасности и качества установки и тренировки.

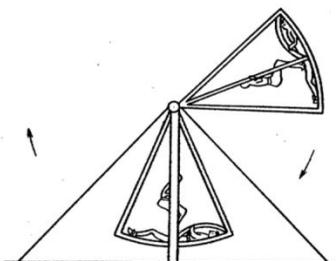


Рис. 2. Устройство для тренировки вестибулярного аппарата,
Авт. Св. №1215727

На рисунке 2 представлено «Устройство для тренировки вестибулярного аппарата», состоящее из каркаса, вращающегося во-

круг горизонтальной оси перекладки каркаса и вокруг своей оси раму, которая снабжена элементами крепления рук и ног человека в положении стоя [2]. На раме жестко установлена площадка, предназначенная для размещения человека в положении лежа и снабженная элементами для его фиксации. Недостатком данного устройства является низкий уровень безопасности. Человек, находящийся в вертикальном положении может потерять сознание. Использование устройства обуславливает воздействие на вестибулярный аппарат угловых и прямолинейных ускорений только в вертикальном направлении. Тренировки зависят от физической подготовки человека, стоящего на площадке.

Нами предлагается усовершенствованный тренажер вестибулярного аппарата (рис.3), который может применяться как для спортсменов, так для летчиков и космонавтов. Устройство для тренировки вестибулярного аппарата на базе механизма Беннетта [3-6] представляет собой пространственный механизм, состоящий из четырех звеньев, связанных плоскими шарнирами. Данный механизм считают «парадоксальным» из-за того, что, согласно известной формуле Сомова-Мальшева, механизм имеет подвижность равной -2, то есть конструкция по этой формуле должна быть неподвижной: $W=6*(m-1)-5p_1=6*(4-1)-5*4=-2$. Однако при реализации такого механизма существенное значение имеет выбор параметров, обеспечивающих его мобильность. При вращении ведущего кривошипа с постоянной угловой скоростью, ведомый будет вращаться с переменной скоростью в пределах одного оборота, т.к. кривошипы вращаются под углом. На шатун можно поместить кресло. Испытуемый будет испытывать сложное неравномерное движение с регулируемым силовым воздействием инерционных сил.

Устройство для тренировки вестибулярного аппарата состоит из стойки 1, кабины 2, которая шарнирно соединена с одной стороны с ведущим кривошипом 3, выполненным в виде двух спаренных кривошипов, который установлен на вал центрального колеса 4, кинематически связанным с электродвигателем 5 и планетарным однорядным редуктором 6, другой стороной кабина через ведомый кривошип 7 шарнирно соединена с ведущим пространствен-

ным стержнем 8, установленным на валу водилы 9. Планетарный однорядный редуктор 6 состоит из центрального колеса 10, установленного на вал центрального колеса 4 и входит в контакт как минимум с двумя сателлитами 11, шарнирно установленными на водило 12 и входящими во внутреннее зацепление с венцом 13, жестко установленным на корпус редуктора 6. Водило 12 жестко посажено на полый вал водилы 9, внутри которого шарнирно установлен вал центрального колеса 4 с возможностью разностороннего вращения относительно друг к другу. Для регулирования многорежимности устройства, электродвигатель 5 снабжен частотным преобразователем, управляемым компьютером.

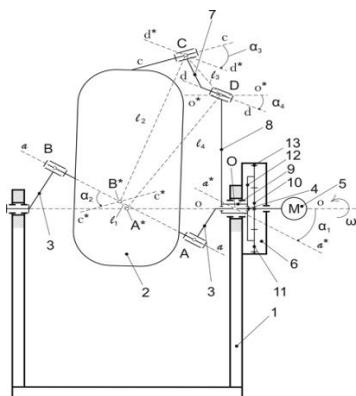


Рис. 3. Устройство для тренировки вестибулярного аппарата на базе механизма Беннетта

Тренажер вестибулярного аппарата работает следующим образом:

Испытуемый садится в кабину 2 и пристегивается с помощью ремней безопасности. Проверив надежность крепления, запускают электродвигатель 5. Вращательное движение от электродвигателя 5 передается планетарному однорядному редуктору 6, а именно с помощью центрального колеса 10, сателлитов 11, водила 12 и венца 13 вращательное движение передается через вал центрального колеса 4 и через вал водилы 9 к ведущему кривошипу 3 и ведущему пространственному стержню 8. Ведущий кривошип 3 с помо-

щью двух спаренных кривошипов, жестко посаженных на вал центрального колеса 4 привода и стойки 1, сообщает кабине сложное движение в пространстве по траектории эллипса, а ведущий пространственный стержень 8 через ведомый кривошип 7 сообщает сложное планетарное пространственное движение кабине с переменными скоростями и ускорениями, тогда как траектория движения кабины 2 принимает вид искаженного тора в пространстве, что позволит повысить эффективность и надежность путем расширения технологических возможностей устройства за счет упрощения конструкции. А снабжение электродвигателя частотным преобразователем, управляемым компьютером, позволит регулировать и управлять многорежимностью переменных скоростей и ускорений, что также повышает технологические возможности устройства и повышает эффективность установки в целом.

По своим преимуществам, по сравнению с известными аналогами, предлагаемое устройство для тренировки вестибулярного аппарата позволяет повысить эффективность тренировок и одновременно повысить надежность путем расширения технических возможностей за счет упрощения конструкции благодаря конструктивному выполнению кабины, шарнирно соединенной звеньями, выполняющей сложные планетарно-пространственные движения с переменными скоростями и ускорениями. А снабжение электродвигателя частотным преобразователем также позволит повысить технические возможности установки, обеспечивая многорежимность управления устройством.

Список литературы

1. *Авт.св. №1258444 (СССР)*. Устройство для тренировки вестибулярного аппарата//В.И.Соловьев. МПК А63В23/02, опубл.23.09.86, БИ №35 [<http://www.findpatent.ru/patent/125/1258444.html>].

2. *Авт.св. №1215727 (СССР)*. Устройство для тренировки вестибулярного аппарата//В. Д. Коробков. МПК А63 В 21/22,опубл.07.03.1986, БИ №9 [<http://www.findpatent.ru/patent/121/1215727.html>].

3. Мудров П.Г. Пространственные механизмы с вращательными парами, Казанский сельскохозяйственный институт имени М.Горького, 1976 г.

4. Yarullin M.G., Khabibullin F.F., Isyanov I.R. Nonlinear crushing dynamics in two degree of freedom disintegrator based on the Bennett's linkage. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol. 8, 2016, p. 477-482, ISSN 2345-0533.

5. М.Г. Яруллин, М.Р. Мингазов. Синтез структурных модификаций механизма Беннетта// Современное машиностроение. Наука и образование: материалы 4-й Международной научно-практической конференции. / под ред. М.М. Радкевича и А.Н. Еврафова. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2014. № 4. – с. 271-280.

6. Яруллин М.Г., Исянов И.Р. Двухподвижный пятизвенный рычажный механизм// Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. - 2015. №2. ISSN 2078-6255.

DEVICE FOR TRAINING VESTIBULAR APPARATUS ON THE BASE OF THE BENNETT MECHANISM

Ryzhakova V.

Supervisor: I. Isyanov

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The article presents a device for training a vestibular apparatus based on the Bennett mechanism. It contains the cockpit of the examinee, pivotally connected by links, performing complex planetary-spatial movements. The device has an original controlled two degree of freedom drive.

УДК 62-383.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОПРИВОДА ГРМ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Сазгетдинов К.М.

Научные руководители: А.Б. Березовский, к.т.н., доцент,
А.В. Максимов

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Разработана физико-математическая модель гидравлического привода клапанов с электронным управлением для автомобильного двигателя с использованием среды моделирования Simulink. Приведены некоторые результаты расчета.

Совершенствование системы газораспределения автомобильного двигателя возможно за счет применения гидравлического привода клапанов с электронным управлением [1, 2]. Это позволит обеспечить существенное улучшение характеристик автомобильного двигателя за счет применения гибких алгоритмов управления клапанами двигателя.

Целью работы является изучение гидропривода клапана двигателя, определение его кинематических характеристик, выявление режимных и эксплуатационных факторов, влияющих на них.

Рассматривается управление клапаном двигателя при помощи двухстороннего поршня, расположенного в гидроцилиндре. Схема гидравлической системы управления приводом клапана показана на рис.1. Открытие клапана происходит при подаче жидкости в надпоршневое пространство при одновременном сливе жидкости из-под поршня. Закрытие клапана осуществляется подачей жидкости под давлением под поршень при одновременном сливе ее из надпоршневого пространства. В качестве рабочего тела системы принято моторное масло. Подача и слив масла из полостей гидроцилиндра осуществляется электромагнитными золотниковыми распределителями по командам электронного блока управления

(ЭБУ). Для снижения пульсаций давления в питающей магистрали применяется гидроаккумулятор. Для уменьшения размеров гидроцилиндра предложено использовать высокое давление питания, равное 10 МПа. Высота подъема клапана обусловлена количеством подаваемого масла в область над поршнем (соответственно, сливом из-под поршня), то есть временем открытого состояния распределителей.

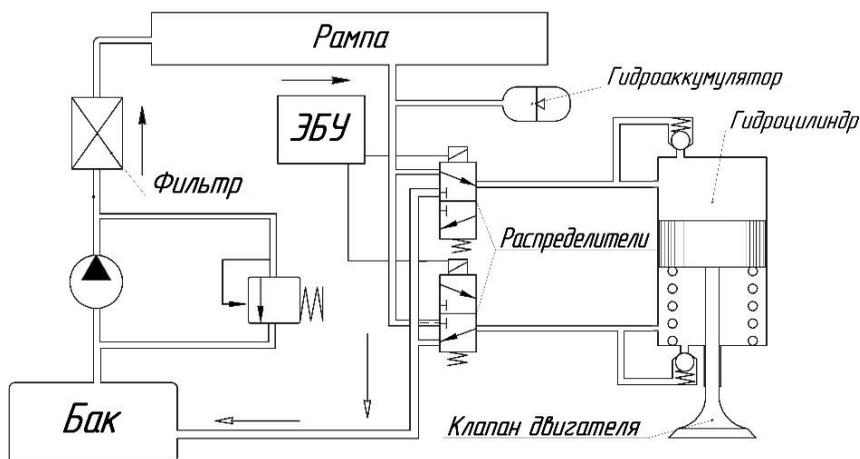


Рис. 1. Схема гидравлической системы управления приводом клапана

В соответствии с предложенной схемой разработана физико-математическая модель привода, которая реализована в графической среде моделирования Simulink.

При описании движения поршня учтены силы от перепада давления на поршне и клапане, сила трения между поршнем и стенками гидроцилиндра и сила упругости возвратной пружины. Посадка клапана на седло рассматривается с учетом упругих деформаций седла клапана и поглощения им энергии удара. Перемещение и скорость поршня определялись интегрированием ускорения. Учитывались путьевые потери давления и инерционность при движении жидкости в магистралях. Для учета податливости стенок магистралей и наличия газовой фазы жидкость рассматривалась как сжимаемая среда. Отдельно рассмотрены потери давления в

распределителях, обратных клапанах и дросселях. Работа гидроаккумулятора моделировалась на основании условий статического равновесия его мембраны.

Элементы привода описаны с помощью блоков из библиотеки моделирования электросиловых, механических и гидравлических систем среды моделирования Simulink [3]. Эта среда автоматически формирует математическую модель, состоящую из дифференциальных и алгебраических уравнений. Пользователь насыщает модель конструктивными и режимными параметрами и начальными условиями. Решение системы уравнений производится численным методом, который пользователь выбирает из предлагаемого списка.

Выбран способ решения *ode15s*, относящийся к многошаговым методам переменного порядка. При этом система дифференциальных уравнений преобразуется в систему алгебраических уравнений. Искомая переменная на новом расчетном шаге определяется по известной переменной на предыдущем расчетном шаге. Критерием выбора величины расчетного шага является отсутствие различий в результатах расчетов при дальнейшем измельчении шага расчета.

Для проведения расчета выбраны исходные данные. Основные данные приведены ниже:

Диаметр гидроцилиндра	15 мм	Масса клапана	210 г
Диаметр стержня	10 мм	Диаметр тарелки клапана	40 мм
Диаметр магистралей	6 мм	Жесткость пружины	25 Н/мм
Вязкость масла	47,5 сСт	Преднатяг пружины	35 Н
Тип масла	SAE10W	Давление насоса	10 МПа
Длина магистралей питания/слива	150 мм / 150 мм	Объем гидроаккумулятора	60 см ³

Подъем клапана, исходя из размерности его тарелки, выбран, равным 15 мм.

Разработанная в среде Simulink модель привода клапанов

изображена на рис. 2.

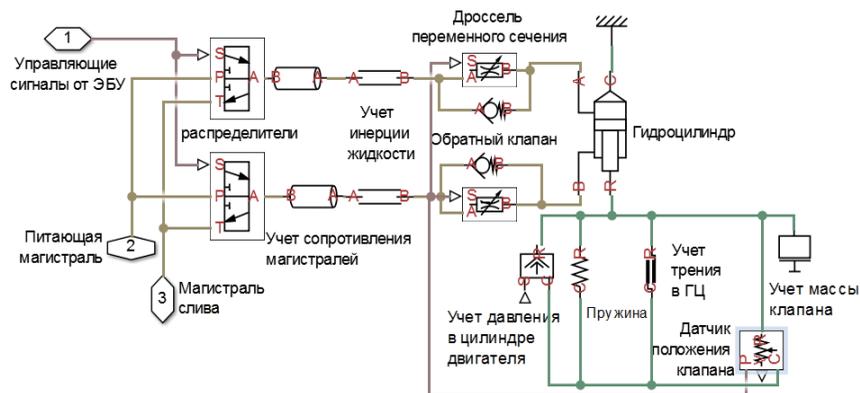


Рис. 2. Модель привода клапанов в среде Simulink

Результаты расчета позволили получить зависимости перемещения h и скорости v движения клапана от времени t при скорости вращения коленчатого вала $n = 1500$ об/мин (рис.3).

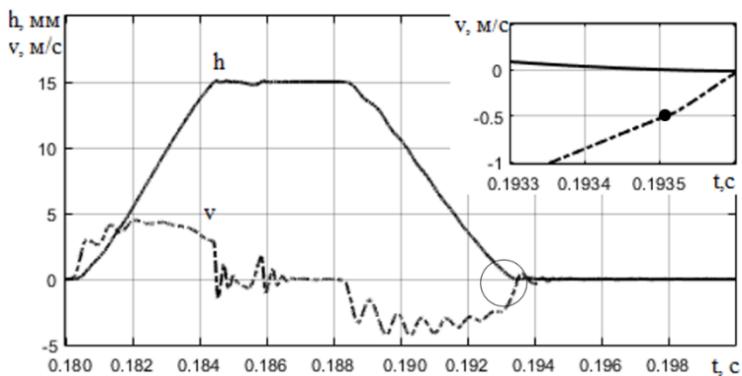


Рис. 3. Перемещение и скорость клапана при $n = 1500$ об/мин

Видно, что изменение скорости клапана имеет сложный характер. Наблюдаются два периода с положительными и отрицательными значениями скорости. При этом происходит подача жид-

кости в одну или другую полости гидроцилиндра, вследствие чего происходит перемещение поршня гидроцилиндра в сторону открытия или закрытия клапана двигателя.

На графике наблюдаются пять этапов затухающих колебаний скорости клапана. Четыре первых имеют одинаковую физическую природу. Внезапное изменение расхода жидкости в питающих и сливных магистралях, инерционность системы «поршень-клапан» и сжимаемость рабочего тела приводят к возникновению колебаний скорости клапана. Затухание колебаний определяется работой сил трения. Последний этап колебаний обусловлен силой реакции, действующей на клапан со стороны седла при его посадке.

Видно, что клапан поднимается на заданную высоту, а закон его перемещения близок к трапецевидному. Скорость движения клапана не превышает 5 м/с, а посадка клапана на седло происходит при скорости, равной 0,5 м/с.

Цель дальнейших исследований – выявление скоростного диапазона, обеспечивающего подъем клапана на заданную величину. Результаты исследования приведены на рис.4.

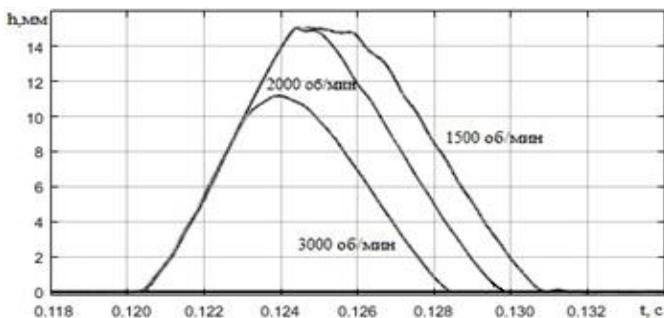


Рис. 4. Перемещение клапана на различных скоростных режимах

При увеличении скорости вращения коленчатого вала время открытого состояния распределителей уменьшается. До $n = 2000$ об/мин подача масла в цилиндр определяется дросселем переменного сечения. Дальнейший рост частоты вращения ограничивает подачу и слив масла распределителями. В итоге при $n > 2000$ об/мин подъем клапана уменьшается.

Дополнительное исследование показало, что на закон перемещения клапана влияет вязкость масла, обусловленная его температурой. Это влияние проявляется, в виде уменьшения подъема клапана при температуре масла ниже 40°C. Так при $t = -20^\circ\text{C}$ подъем клапана составляет только 2мм. Это может привести к ограничению мощности двигателя в ходе его прогрева.

Таким образом, разработанный в программе Simulink гидравлический привод клапанов обеспечивает заданный подъем клапана до частоты вращения коленчатого вала $n = 2000$ об/мин в диапазоне температур масла от 40 до 100°C. Это делает его привлекательным для использования в двигателях коммерческих автомобилей.

Список литературы

1. *Сазгетдинов К.М.* Перспективные системы управления газораспределением автомобильных двигателей. – Настоящий сборник. – С.
2. *Березовский А.Б., Гатауллин Н.А., Зимина Л.А., Максимов А. В.* Численное исследование газораспределительного механизма с электрогидравлическим приводом // Журнал ААИ. – 2015, №5 (94). – С. 16-22.
3. *Руппель А.А., Сагандыков А.А., Корытов М.С.* Моделирование гидравлических систем в MatLab: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2009. – 172 с.

MODELING OF HYDRAULIC VALVE TRAIN ACTUATOR WITH ELECTRONIC CONTROL FOR AUTOMOBILE ENGINE

Sazgetdinov K.

Supervisors: A. Berezovsky, Ph.D., associate professor,

A.V. Maksimov

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

Developed physical and mathematical model of the hydraulic valve drive with electronic control for automobile engine, using the simulation environment Simulink. Given some of the results of the calculation.

УДК 62-383.1

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Сазетдинов К.М.

Научные руководители: А.Б. Березовский, к.т.н., доцент,
А.В. Максимов

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Представлен обзор современных систем управления газораспределением автомобильных двигателей. Проведен анализ существующих на рынке серийных и предсерийных систем изменения фаз газораспределения. Отмечено перспективное направление развития – гидравлический привод клапанов двигателя с электронным управлением.

Традиционный газораспределительный механизм (ГРМ) предполагает использование одного, неизменного закона перемещения впускного или выпускного клапанов. Этот закон определяется жесткой связью распределительного вала с коленчатым валом и профилем кулачка распределительного вала. Такой способ привода клапанов не позволяет эффективно осуществлять наполнение цилиндров на всех режимах работы двигателя.

Перспективным направлением совершенствования процессов газообмена является управление приводом клапанов с целью изменения фаз газораспределения, закона перемещения клапана и высоты его подъема в зависимости от режима работы двигателя [1].

Для этого используются следующие способы механического воздействия: изменение фаз газораспределения за счет углового положения распределительного вала, изменение закона и высоты подъема клапанов за счет дискретного использования нескольких кулачков распределительного вала, введение промежуточного управляемого звена между распределительным валом и клапаном. Приводы клапанов, основанные на этих принципах, управляются электронным способом. Названия и разработчики серийных ГРМ с

механическим приводом представлены ниже.

Вид воздействия	Разработчики
Смещение фаз газораспределения	VVT (GM), VVT-I (Toyota), CVVT (Alfa Romeo), VANOS (BMW), AVCS (Subaru)
Ступенчатое изменение фаз газораспределения и высоты подъема клапана	Valvelift (Audi), VTEC, VTEC-E (Honda), VVTL-I (Toyota), Variocam (BMW)
Бесступенчатое изменение фаз газораспределения и высоты подъема клапана	Valvematic (Toyota), Valvetronic (BMW), MIVEC (Mitsubishi), Ferrari VVT, DVVT-I (Toyota)

К первой группе относятся системы VVT-I (Toyota), Vanos (BMW), система CVT (Kia) и др. Эти системы предполагают управление моментом срабатывания клапанов путем изменения углового положения распределительного вала относительно коленчатого вала (рис. 1). Это устройство называют фазовращателем.

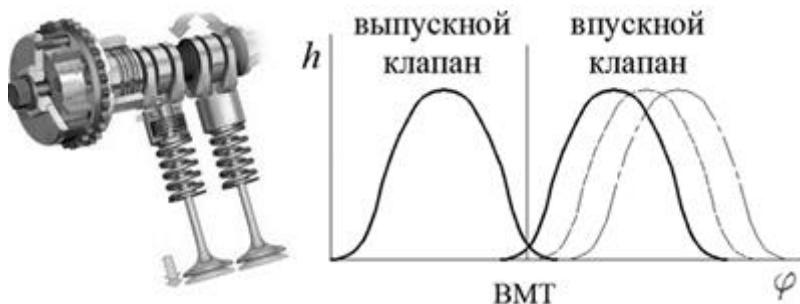


Рис. 1. Система VVT-I

Системы привода клапанов второй группы можно условно разделить на два подкласса.

1. Системы с приводом клапана от одного из нескольких кулачков распределительного вала. Активизация необходимого ку-

лачка происходит перемещением блока кулачков в осевом направлении. К этому подклассу относятся системы Valvelift, Variocam (рис.2а).

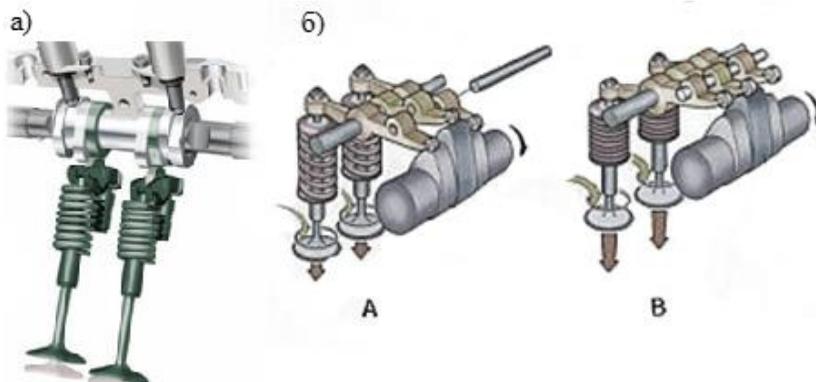


Рис. 2. а) система Valvelift; б) система VTEC

2. Системы, которые изменяют закон работы клапана за счет его соединения с одним или другим рычагом, работающим от разных кулачков распределительного вала (VVTL-I, VTEC, VTEC-E) (рис.2б).

К третьей группе относятся конструктивно сложные системы с бесступенчатым изменением закона срабатывания клапанов (Valvetronic, Valvematic, MIVEC, Ferrari VVT). В системе Valvematic передача усилия на рокеры впускных клапанов от распределительного вала осуществляется через блок коромысел переменной геометрии (рис.3а). Это позволяет изменять высоту подъема клапанов от 1 до 11 мм, а длительность их открытого состояния от 106 до 260° поворота коленчатого вала.

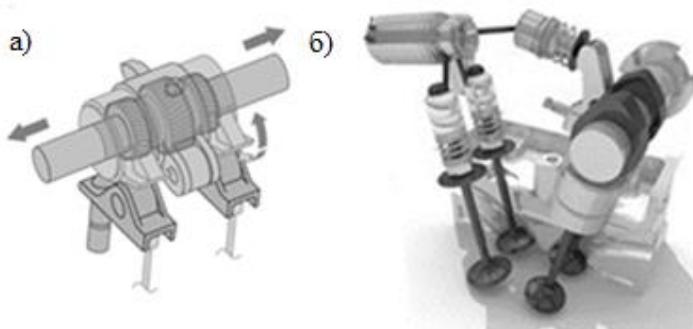


Рис. 3. а) система Valvematic; б) система MultiAir

Интересное решение найдено фирмой Фиат, предложившей систему объемного гидравлического привода впускных клапанов MultiAir, в котором плунжерный насос приводится в действие кулачком распределительного вала. Клапан открывается поршнем силового гидроцилиндра. За счет слива жидкости из гидроцилиндра по команде компьютера изменяют момент срабатывания клапана и высоту его подъема (рис.3б).

Рассмотренные системы являются серийными и реализуют одинаковое срабатывание всех одноименных клапанов. Момент открытия клапанов изменяется в диапазоне углов поворота коленчатого вала $\pm 20^\circ$. Возможно лишь одинарное срабатывание клапана в пределах рабочего цикла (MultiAir допускает двойное срабатывание).

Практически неограниченными возможностями обладают независимые от коленчатого вала приводы клапанов. Могут использоваться электромагнитный, гидравлический или пневматический принцип воздействия на клапан или их комбинация [2-6].

Возможна система электромагнитного привода клапана, якорь которой, связанный с клапаном, совершает линейное или угловое перемещение. Можно отметить комбинированную электромагнитно-механическую систему привода клапанов, работающую по принципу пружинного маятника [5, 6].

Примером гидравлического привода клапанов является разработка компании Lotus системы AVT для исследования влияния

закона перемещения клапанов на характеристики двигателя [7]. Поршень гидроцилиндра связан штоком со стержнем клапана. Подача и слив жидкости из верхней и нижней полостей гидроцилиндра осуществляется при помощи быстродействующих распределительных клапанов по командам компьютера. Таким образом, под действием давления жидкости происходит открытие и закрытие клапана на величину от 0,1 мм до 16 мм. Привод сохраняет работоспособность до 8000 об/мин. Контроль за положением клапана осуществляется датчиками положения с точностью до 0,05 мм. Подъем клапана зависит от температуры жидкости, что обусловлено ее вязкостью.

Общий принцип работы пневматического привода клапанов аналогичен гидравлическому приводу [8]. Преимуществом перед гидравлическим приводом является отсутствие влияния температуры на работу механизма, а недостатком – сложность плавной посадки клапана на седло.

По результатам анализа проведенного обзора систем управления газораспределительным механизмом двигателей можно сделать следующие выводы.

1. Механический привод клапанов является наиболее распространенным ввиду своей относительной простоты и надежности. Однако этот тип привода не позволяет полностью использовать преимущества независимого от коленчатого вала управления клапанами двигателя.

2. Электромагнитный привод клапанов является очень интересным техническим решением, однако его реализация затруднена из-за больших размеров электромагнитов (при стандартном напряжении питания) и безударной посадки клапана на седло.

3. Основным преимуществом пневмопривода является высокое быстродействие. Главным препятствием для его внедрения является нестабильность работы, обусловленная, в основном, сжимаемостью воздуха.

4. Перспективным является гидравлический привод клапана, который может быть односторонним (открытие выполняется гидропоршнем, закрытие – клапанной пружиной) или двухсторонним (открытие и закрытие выполняется гидропоршнем). Отметим, что

применение такого привода требует быстродействующих малогабаритных распределителей.

5. Применение независимо от коленчатого вала управляемых клапанов требует разработки эффективных алгоритмов управления и программного обеспечения бортового компьютера.

Список литературы

1. Автомобильный справочник. Пер. с англ. ООО «Стар-СПб»– 3-е изд., М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2012. – 1280с.

2. *Braden J. S.*, Development of a Piezoelectric Controlled Hydraulic Actuator for a Camless Engine, Master Thesis, University of South Carolina, 2001.

3. *Балабин В. Н.* Современные системы газораспределения транспортных двигателей. – М.: Издательство «Железнодорожное дело», 2004. – 108 с.

4. *Березовский А.Б., Максимов А.В., Гатауллин Н.А., Зимица Л.А., Садыков М.Ф., Гумеров И.Ф., Валеев Д.Х., Хафизов Р.Х.* Экспериментальное исследование газораспределительного механизма с электрогидравлическим приводом // Двигателестроение, 2016. № 1. – С. 11-17.

5. *Соснин Д.А., Яковлев В.Ф.* Новейшие автомобильные электронные системы: учеб. пособ. – М.: СОЛН-Пресс, 2005. –240с.

6. *Данов Б. А., Тутов Е.И.* Электронное оборудование иностранных автомобилей: системы управления двигателем. – М.: Транспорт, 1998. – 76 с.

7. Steve Louis. Expanding Combustion Knowledge – Lotus AVT System [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lotusproactive.wordpress.com/2014/04/09/expanding-combustion-knowledge-lotus-avt-system.html>, свободный.

8. *S. Trajkovic.* «Study of a Pneumatic Hybrid aided by a FPGA Controlled Free Valve Technology System», Thesis for the Degree of Licentiate of Engineering, Lund University, Lund, 2008.

AUTOMOBILE ENGINES

Sazgetdinov K.

Supervisors: A. Berezovsky, Ph.D., associate professor,

A. Maksimov

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

Presents an overview of modern valve timing control systems of automobile engines, analysis of the existing market variable valve timing systems. Noted a promising line of development – hydraulic engine valves drive with electronic control.

УДК534.014.1

КОЛЕБАНИЯ МАЯТНИКА ПРИ НАЛИЧИИ УРАВНОВЕШИВАЮЩЕЙ СИЛЫ

Сандросян М.Г.

Научный руководитель: А.М. Гаврилов, д.ф.-м.н., доцент
(Южный федеральный университет, г. Таганрог)

Теоретически и экспериментально рассмотрено поведение маятника, совершающего свободные колебания, при наличии уравновешивающего груза. Выявлены четыре возможных состояния уравновешивающего груза и условия их реализации.

1. Постановка задачи

Цель работы – исследовать особенности поведения маятника, совершающего свободные колебания, при наличии уравновешивающей статической силы. Актуальность задачи обусловлена практической значимостью для инженерных механических систем и неоднозначной интерпретацией [1] процессов в системе.

Условия проведения опыта: два одинаковых невесомых блока A и B с параллельными осями установлены на одном уровне. Через блоки переброшена нерастяжимая невесомая нить, на ее концах висят одинаковые грузы $m_1 = m_2 = m$. В состоянии покоя грузы висят на нитях равной длины l и уравновешены, $F_{H1} = F_{H2}$.

Правый груз отведем в сторону на угол α_0 и отпустим, давая ему возможность совершать свободные колебания, рис. 1. Выясним, приведут начавшиеся колебания правого груза к нарушению состояния покоя левого груза? Какой характер имеет движение?

В начале, когда движение левого груза еще не началось, колебания маятника при отсутствии трения опишем уравнением

$$m\vec{a} = m(\vec{a}_n + \vec{a}_\tau) = \vec{F}_{H2} + m\vec{g}; \quad (1)$$

где

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau; \quad a_n = l[d\alpha/dt]^2; \quad V = l d\alpha/dt. \quad (2)$$

$$\vec{a}_\tau = d^2\vec{s}/dt^2; \quad a_\tau = l d^2\alpha/dt^2; \quad s = l\alpha. \quad (3)$$

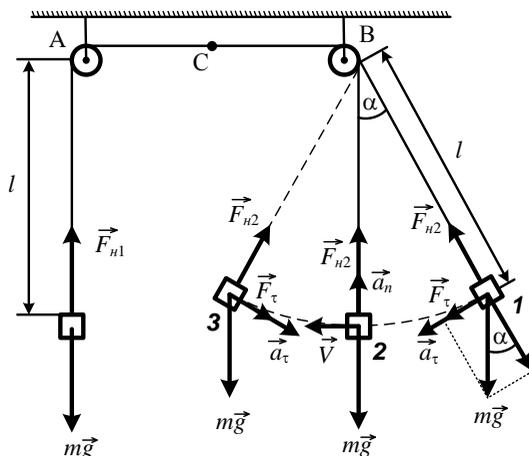


Рис. 1. Схема опыта. Начало колебаний: $\alpha(t = 0) = \alpha_0$

В рамках стандартной процедуры получаем уравнение движения маятника

$$d^2\alpha(t)/dt^2 + \omega_0^2 \sin[\alpha(t)] = 0. \quad (4)$$

Для колебаний малой амплитуды, $\alpha \ll 1$, уравнение (4) принимает вид уравнения колебаний гармонического осциллятора:

$$d^2\alpha(t)/dt^2 + \omega_0^2 \alpha(t) = 0. \quad (5)$$

Здесь ω_0 – частота собственных колебаний маятника:

$$\omega_0 = \sqrt{g/l}. \quad (6)$$

Решение (5) имеет вид гармонической функции:

$$\alpha(t) = \alpha_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (7)$$

где φ_0 – начальная фаза колебаний.

2. Сила натяжения нити при колебаниях груза

Сила натяжения нити с учетом нормального ускорения груза

$$F_{H2}(t) = m\{g \cdot \cos[\alpha(t)] + l[d\alpha(t)/dt]^2\} \quad (8)$$

нелинейно зависит от угла. Подставим в (8) решение (7) при $\varphi_0=0$:

$$F_{H2}(t) = mg[(1 + 0,25\alpha_0^2) - 0,75\alpha_0^2 \cos(2\omega_0 t)] = \quad (9)$$

$$= F_{H20} + F_{H2\sim}(t),$$

где F_{H20} и $F_{H2\sim}$ – постоянная и переменная части силы натяжения:

$$F_{H20} = mg + \Delta F_{H20} = (1 + 0,25\alpha_0^2)mg ; \quad (10)$$

$$F_{H2\sim}(t) = -0,75\alpha_0^2 mg \cdot \cos(2\omega_0 t). \quad (11)$$

Точное значение постоянной составляющей силы натяжения F_{H20} получим, интегрируя (8) по времени и находя среднее значение:

$$F_{H20}(\alpha_0) = mg[J_0(\alpha_0) + 0,5\alpha_0^2], \quad (12)$$

где J_0 – функция Бесселя 1-го рода нулевого порядка. Нормированные зависимости амплитуды ($F_{H2\sim max}/mg$) переменной и приращения (F_{H20}/mg) постоянной компоненты силы натяжения от амплитуды угла отклонения груза показаны на рис. 2.

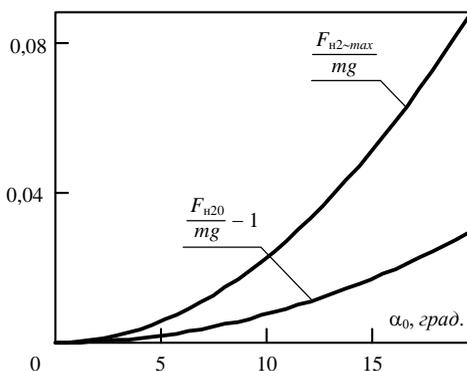


Рис. 2. Нормированные зависимости переменной и приращения постоянной составляющей силы натяжения от амплитуды угла отклонения груза α_0

К особенностям силы натяжения нити колеблющегося маятника следует отнести нелинейную зависимость от угла отклонения груза, из-за чего частота изменения $F_{H2\sim}(t)$ и вдвое выше частоты изменения $\alpha(t)$, рис. 3. Сила натяжение нити маятника представлена совместным действием веса груза mg , переменной $F_{H2\sim}(t)$ и постоянной F_{H20} амплитудно-зависящих добавок, рис. 4.

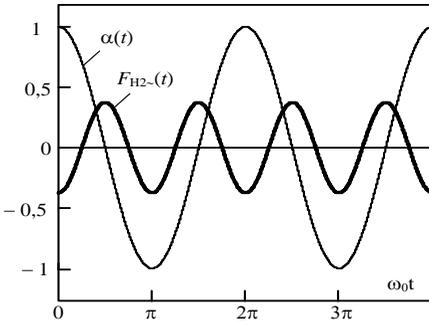


Рис. 3. Временные изменения угла маятника и переменной добавки к силе натяжения

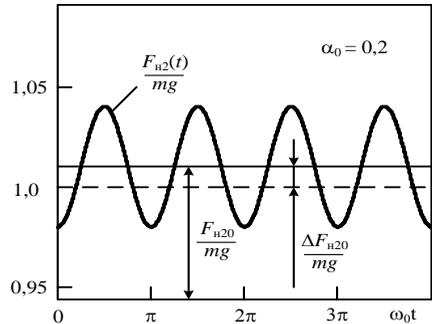


Рис. 4. Сила натяжения нити колеблющегося маятника и ее компоненты

3. Поведение уравнивающего груза

В начале колебаний, рис. 5-а, грузы находятся на одинаковой высоте, однако силы натяжения нити уже не равны между собой:

$$l_1 = l_2 = l_0; \quad \vec{F}_{H1} \neq \vec{F}_{H2};$$

$$\vec{F}_{H2} - \vec{F}_{H1} = \Delta \vec{F}_{H2}(t) = \Delta \vec{F}_{H20} + \vec{F}_{H2\sim}(t)$$

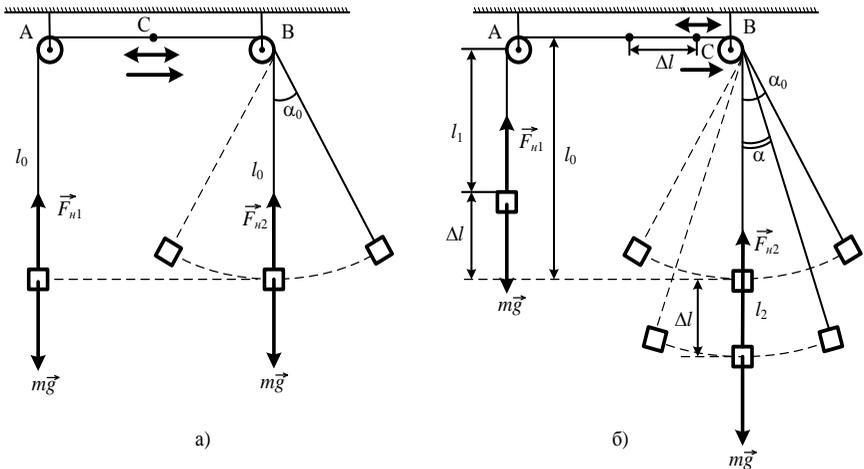


Рис. 5. Изменение состояния системы при колебаниях правого груза

О состоянии левого груза можно судить по поведению точки

С. Под действием разности сил $\Delta\vec{F}_{H2}(t)$ точка С смещается в направлениях, показанных стрелками:

$$\Delta\vec{F}_{H2}(t) = \Delta\vec{F}_{H20} + \vec{F}_{H2\sim}(t) = 2m[\vec{a}_0 + \vec{a}_{\sim}(t)], \quad (13)$$

где \vec{a}_0 – постоянное ускорение из-за действия $\Delta\vec{F}_{H20}$ направлено вправо; \vec{a}_{\sim} – колебательное ускорение обусловлено силой $\vec{F}_{H2\sim}(t)$:

$$a_0 = \Delta F_{H20}/2m = \alpha_0^2 g / 8;$$

$$a_{\sim}(t) = F_{H2\sim}/2m = -(3\alpha_0^2 g/8)\cos(2\omega_0 t).$$

В (13) не учтена сила трения ($\vec{F}_{тр} = \vec{F}_{тр1} + \vec{F}_{тр2}$) на осях блоков, способная изменить состояние левого груза. Возможные ситуации:

1). – сила трения превышает добавку к силе натяжения из-за колебаний маятника $\vec{F}_{тр} > \Delta\vec{F}_{H2}(t)$. Точка С остается неподвижной;

2). – сила трения больше постоянной добавки, но меньше амплитуды переменной компоненты натяжения $F_{H2\sim max} > \vec{F}_{тр} > \Delta\vec{F}_{H20}$. Точка С совершает колебания возле точки покоя.

3). – сила трения меньше обеих добавок к силе натяжения, вызванных колебаниями $F_{H2\sim max} > \Delta\vec{F}_{H20} > \vec{F}_{тр}$. Точка С совершает одновременно колебательное и поступательное виды движения.

Подбором начального угла отклонения α_0 можно обеспечить любое из перечисленных состояний.

4. Особенности движения уравнивающего груза

Наиболее интересен третий случай. Из-за поступательного движения точки С растет длина подвеса маятника l , что влияет на амплитуду угла отклонения и частоту его колебаний:

$$\alpha_l = \alpha_0 \sqrt{l_0/l}; \quad \omega_l = \omega_0 \sqrt{l_0/l}; \quad T_l = T_0 \sqrt{l/l_0} = 2\pi \sqrt{l/g}. \quad (14)$$

Зависимость добавки ΔF_{H20} от длины подвеса l маятника:

$$\Delta F_{H20}(l) = \frac{\Delta W_0}{l_0} \cdot \frac{l_0}{l} = \Delta F_{H20}(l_0) \frac{l_0}{l} = \frac{mg}{4} \alpha_0^2 \frac{l_0}{l}. \quad (15)$$

Поступательное движение левого груза, начавшееся вместе с колебаниями правого груза, замедляется по мере удлинения подвеса (15) и прекращается при $l = l_2$. Остановка левого груза происходит при достижении равенства $\Delta F_{H20}(l_2)$ и силы трения $F_{тр}$, рис. 6.

При малых отклонениях маятника ($\alpha_0 = 4^\circ$) добавка к силе натяжения ΔF_{H20} меньше силы трения $F_{тр}$, кривая 1 на рис. 6. Поступательное движение левого груза (точки C) не происходит, рис. 5-а. При большем угле, $\alpha_0 = 6^\circ$, кривая 2 пересекает горизонтальную линию 4 силы трения $F_{тр}$. Проекция точки пересечения на горизонтальную ось показывает новое значение длины нити колеблющегося груза l_2 , рис. 5-б и рис. 6:

$$l = l_0 + \Delta l.$$

Если начальное отклонение груза еще больше ($\alpha_0 = 8^\circ$), левый груз не успеет остановиться и упрется в блок подвеса, сделав невозможным дальнейшее поступательное движение. Этому случаю соответствует кривая 3 на рис. 6. Зависимости амплитуды угла и периода колебаний от длины нити (14) показаны на рис. 7.

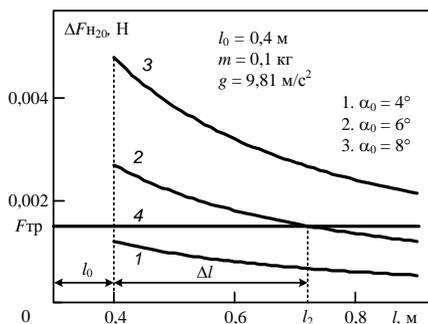


Рис. 6. Зависимость постоянной добавки к силе натяжения ΔF_{H20} от длины нити маятника

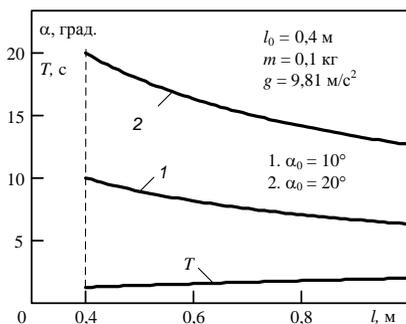


Рис. 7. Зависимость амплитуды угла и периода колебаний от длины нити

В эксперименте использованы грузы массой $m = 100$ г, висящие в состоянии покоя на высоте $l_0 = 40$ см, расстояние между блоками $L = 1$ м. Опыты подтвердили, что в зависимости от амплитуды угла α_0 возможны четыре состояния левого груза:

- 1). – груз неподвижен при малых значениях амплитуды угла α_0 ;
- 2). – груз совершает вертикальные колебания с увеличением амплитуды колебаний маятника α_0 ;

3). – дальнейший рост α_0 приводит к началу поступательного движения, которое направлено вправо и замедляется с удлинением подвеса маятника. Достигнув определенной высоты, груз прекращает поступательное движение, продолжая колебания по высоте;

4). – при больших амплитудах колебаний α_0 поступательное движение продолжается вплоть до остановки груза блоком.

Список литературы

1. Шаскольская М.П., Эльцин И.А. Сборник избранных задач по физике. Под. ред. С.Э. Хайкина. М., Наука, 1974.– 224 с.

PENDULUM OSCILLATIONS AT PRESENCE COUNTERBALANCING FORCE

Sandroşjan M.

Supervisor: A. Gavrilov, doctor phys.-math. sc., docent
(*Southern Federal University, Taganrog*)

The behavior of the pendulum making free oscillations is considered theoretically and experimentally at presence of a counterbalancing weight. Four possible conditions of counterbalancing weight and condition of their realization are revealed.

УДК 531.8

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕХАНИЗМА БЕННЕТТА

Торшин Р.Г.

Научный руководитель: О.А. Саченков, к.ф.-м.н.
(Казанский Федеральный Университет, г. Казань)

В работе рассмотрено построение математической модели для описания кинематики пространственного рычажного механизма, приведены результаты расчетов для механизма Беннетта.

Практически во всей продукции машиностроения используются различные механизмы, будь то плоские, пространственные, с разным количеством звеньев и различным их соединением [3, 5-8]. Более того, при биомеханическом анализе поясов нижних и верхних конечностей, задача часто сводится к рычажным пространственным механизмам [3, 4]. В настоящей работе рассмотрено построение математической модели пространственного четырехзвенного механизма Беннетта. Для этого свяжем с каждым звеном локальную систему координат (ось абсцисс направлена по звену, а ось аппликат – ось вращения звена, ось ординат определяется по правилу правой тройки) и построим условия совместности движения в глобальной (инерциальной) системе координат, используя соотношения поворота и масштабирования локальных систем координат. Для этого будем использовать матрицы поворота и масштабирования. Для произвольного пространственного рычажного механизма необходимо учитывать условие проворачиваемости, в рассматриваемом случае получим [1,2,8]:

$$\begin{aligned}l_{ab} &= l_{cb}, \quad l_{bc} = l_{da} \\ \psi &= \pi/6, \quad \theta = \pi/2 \\ l_{ab} \cdot \sin \theta &= l_{bc} \cdot \sin \psi\end{aligned}\tag{1}$$

Тогда для рассматриваемого механизма, можно получить уравнения:

$$\overline{O_1A} + \overline{AB}(\psi, \varphi) + \overline{BO_2}(\theta, \beta) + \overline{O_2O_1}(\psi, \gamma) = \vec{0}\tag{2}$$

Данное уравнение имеет сложное аналитическое решение. Поэтому будем его решать численно. Для этого проведём дискретизацию по времени и разрешим уравнения (2) относительно углов φ , β , γ при $t = \overline{0, 10\pi}$. Точность решения системы (2) зависит от величины дискретизации шага, для чего введем невязку:

$$|\overrightarrow{O_1A} + \overrightarrow{AB} + \overrightarrow{BO_2} - \overrightarrow{O_2O_1}| = \varepsilon \quad (3)$$

Вышеуказанная система была решена, на рис. 1 приведены графики законов движения углов φ , β , γ .

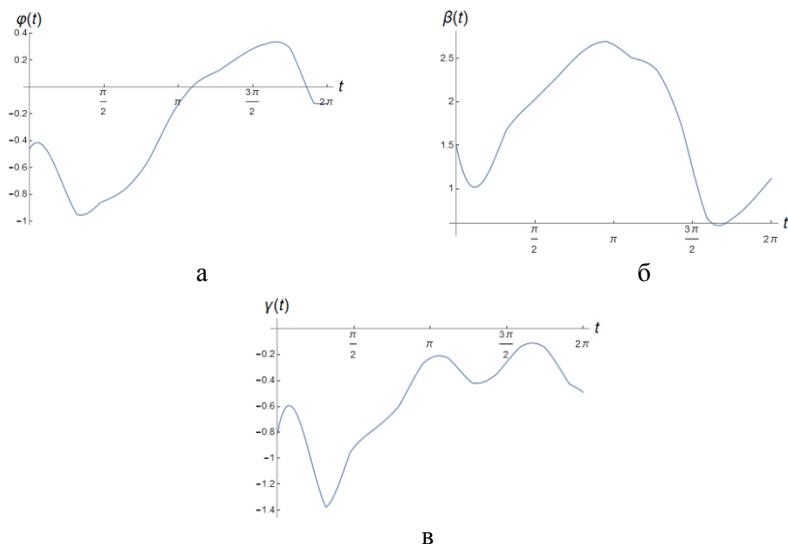


Рис. 1. Зависимость углов $\varphi(t)$ (а), $\beta(t)$ (б) и $\gamma(t)$ (в) от времени

Полученные данные, позволяют определить кинематические и динамические характеристики механизма. Но для определения динамических характеристик, рассмотрения равновесия механизма и его звеньев не хватит. Количество неизвестных превышает количество уравнений. Для решения этой проблемы также необходимо рассмотреть деформацию звеньев относительно осей x, y, z [1, 2].

Список литературы

1. *Changjian Zhi, Sanmin Wang, Yuantao Sun, Jianfeng Li.* Kinematic and dynamic characteristics analysis of Bennett's linkage. Journal of Harbin Institute of Technology (New Series), Vol.22, No 3, 2015
2. *Tadeusz Bil.* Analysis of the Bennett linkage in the geometry of tori. Mechanism and Machine Theory. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2012.03.003
3. *Зайцева Т.А., Коноплев Ю.Г., Митряйкин В.И., Саченков О.А.* Математическое моделирование вывиха имплантата в тазобедренном суставе // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. № 1. С. 99-102.
4. *Саченков О.А., Хасанов Р.Ф., Андреев П.С., Коноплев Ю.Г.* Численное исследование напряженно-деформированного состояния тазобедренного сустава при ротационной остеотомии проксимального участка бедренной кости // Российский журнал биомеханики. 2016. Т. 20. № 3. С. 257-271.
5. *Яруллин М.Г., Мингазов М.Р.* Краткий анализ модификации механизма Беннетта // Проблемы механики современных машин материалы V международной конференции. 2012. С. 177-180.
6. *Яруллин М.Г., Исянов И.Р.* Двухподвижный пятизвенный рычажный механизм // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. Т. 71. № 2. С. 97-102.
7. *Яруллин М.Г., Мингазов М.Р.* Структурный синтез двухподвижного пространственного 5г механизма и элементы следящего управления // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. № 6. С. 214.
8. *Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф.* Кинематика двухподвижного дезинтегратора с приводом на базе пространственных 4г механизмов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. № 1. С. 108.

**CONSTRUCTION OF THE MATHEMATICAL MODEL
OF BENNETT'S MECHANISMS**

Torshin R.

Supervisor: O. Sachenkov, PhD

(Казань Kazan Federal University, Kazan)

In work the construction of a mathematical model for the description of the kinematics of the spatial lever mechanism is considered, the results of calculations for the Bennett mechanism are presented.

УДК 621.01

КИНЕМАТИКА БАЛАНСИРА СФЕРИЧЕСКОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА

Фаизов М.Р.

Научный руководитель: М.Г. Яруллин, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной работе исследовано движение простого сферического механизма. Исследована кинематика звена балансира. Проведено сравнение исследований движений в программных обеспечениях SOLIDWORKS и MAPLE.

Основная часть

На рисунке 1, представлены, кинематическая схема и 3D модель сферического механизма. Он состоит из кривошипа 1, шатуна 2, балансира 3 и стойки 4. Для исследования выбрано звено 3 (балансир), которое перемещается под углом γ , при вращении кривошипа 1 под углом φ . Звено 1 (кривошип) является ведущим звеном, выполняет полнооборотное вращательное движение. Балансир - являющийся ведомым звеном, совершает возвратно вращательное движение.

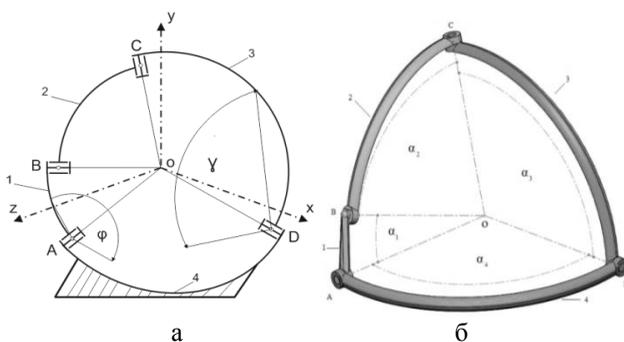


Рис.1. Сферический четырехзвенный механизм:
а) Кинематическая схема; б) 3D модель

Для исследования движения балансира было заимствовано выражение (3) у автора [2]:

$$\cos \gamma = \frac{1}{\sin \alpha_3 x [1 - (\cos \alpha_1 x \cos \alpha_4 + \sin \alpha_1 x \sin \alpha_4 x \cos \varphi)^2]^x} \times$$

$$x [(\sin \alpha_4 x \cos \alpha_1 - \sin \alpha_1 x \cos \alpha_4 x \cos \varphi) x$$

$$x (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1 x \cos \alpha_3 x \cos \alpha_4 - \sin \alpha_1 x \sin \alpha_4 x \cos \alpha_4 x \cos \varphi) \pm \sin \alpha_1 x \sin \varphi x$$

$$x \sqrt{\sin^2 \alpha_2 x \sin^2 \alpha_3 - (\cos \alpha_1 x \cos \alpha_4 - \cos \alpha_2 x \cos \alpha_3 + \sin \alpha_1 x \sin \alpha_4 x \cos \varphi)}]$$

где: φ – угол поворота звена 1, γ – угол поворота звена 3.

Знак радикала определяет направление вращения кривошипа.

Для сравнения правильности вычисления кинематики сферического механизма было выбрано два программных обеспечения SOLIDWORKS и MAPLE.

В SOLIDWORKS спроектирован новый сферический механизм с заданными углами, по методики из статьи [1]. Углы сферического четырехзвенного механизма между осями шарниров звеньев заданы значениями $\alpha_1=20^\circ, \alpha_2=70^\circ, \alpha_3=100^\circ, \alpha_4=100^\circ$. 3D модель механизма представлена на рисунке 1б. Для определения угловых перемещений, угловых скоростей и угловых ускорений достаточно собрать в программе сферический механизм и выполнить соответствующие команды исследования движений.

Для исследования сферического четырехзвенного механизма в MAPLE следует ввести все данные, через специальные команды программы. В программе MAPLE углы между осями шарниров звеньев $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и α_4 , заданы переменными m, a, k и l и углы в градусах выражены в радианах (в стиле программы):

$$\begin{aligned} m &= 0.349 & k &= 1.745 \\ a &= 1.221 & l &= 1.745 \end{aligned} \quad (2)$$

Выражение (1) задается через переменную p, для нахождения $\cos \gamma$, а угол φ задан переменной n.

Тогда выражение (1) имеет вид:

$$p = \frac{1}{\sin k x [1 - (\cos m x \cos l + \sin m x \sin l x \cos n)^2]^x} \times$$

$$x [(\sin l x \cos m - \sin m x \cos l x \cos n) x$$

$$x (\cos a - \cos m x \cos k x \cos l - \sin m x \sin l x \cos l x \cos n) \pm \sin m x \sin n x$$

$$x \sqrt{\sin^2 a x \sin^2 k - (\cos m x \cos l - \cos a x \cos k + \sin m x \sin l x \cos n)}].$$

Значение выражения $\arccos(p)$ введено через переменную s:

$$s = \arccos(p). \quad (4)$$

Для того чтобы получился график углового перемещения, нужно задать правильную команду:

$$\text{plot}(s, n = 0..6.2832, \text{title} = \text{"Угловое перемещение"}). \quad (5)$$

Переменная n на графике изменяется по полнооборотному движению кривошипа. На рисунке 2б представлен график углового перемещения, определяющийся соотношением переменных s и n .

Чтобы найти угловую скорость от перемещения нужно взять производную по выражению (3) от переменной p :

$$w = \text{diff}(p, n). \quad (6)$$

По полученной производной определим числовое значение производной вводом новой переменной

$$z = \text{arccos}(w) \quad (7)$$

Аналогично определяем угловую скорость, как и углового перемещения:

$$\text{plot}(z, n = 0..6.2832, \text{title} = \text{"Угловая скорость"}). \quad (8)$$

График угловой скорости представлен на рисунке 2г.

Для углового ускорения нужно выполнить повторение команд по выражениям (6,7,8), но с условием нахождения от первой производной угловой скорости по выражению (6) от переменной w :

$$q = \text{diff}(w, n). \quad (9)$$

$$y = \text{arccos}(q) \quad (10)$$

$$\text{plot}(y, n = 0..6.2832, \text{title} = \text{"Угловое ускорение"}). \quad (11)$$

Результаты исследования

Из сферического механизма можно создать устройства. С помощью кривошипа можно балансировать задавать возвратно вращательное движение.

Графики зависимостей угловых перемещений, угловых скоростей и угловых ускорений подобны и являются периодическими. Из рисунка 2 видно, что проекция перемещения и скорости, проекции скорости и ускорения в середине движения имеют экстремальные значения.

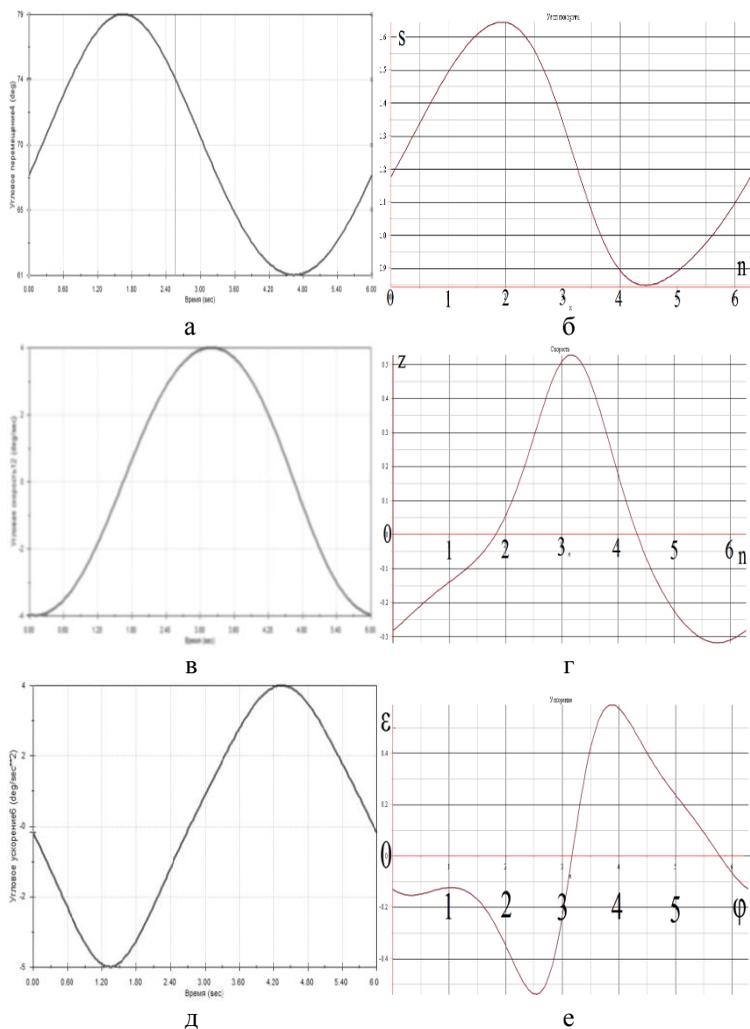


Рис. 2. Графики SOLIDWORKS и MAPLE: а, б) угловое перемещение; в, г) угловые скорости; д, е) угловые ускорения

Заклучение

*ПОДСЕКЦИЯ 5.7. ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ
И МАШИН, МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА*

1. Определены кинематические параметры движения балансира сферического четырехзвенника двумя способами: в системе SOLIDWORKS CAE и MAPLE.

2. Сравнение результатов значений угловых перемещений, угловых скоростей и угловых ускорений подтверждает адекватность полученных моделей в системе SOLIDWORKS CAE и MAPLE.

Список литературы

1. Яруллин М.Г., Фаизов М.Р. Синтез сферических четырехзвенников с вращательными парами в программе SOLIDWORKS./Сборник статей СПБСТУ 2017. С 250-261.

2. Мудров П.Г. Пространственные механизмы с вращательными парами/Под ред. Ю.В.Коровин – Казанский университет, 1976, 265 с.

KINEMATIC ROCKER SPHERICAL FOUR BAR

Faizov M.

Supervisor : M. Yarullin, Doctor of technical science, professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

In this paper we investigate the motion of a simple spherical mechanism. The kinematics of the link of the balance bar is studied. Comparison of motion studies in software SOLIDWORKS and MAPLE is compared.

УДК 621.926

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПОДВИЖНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ ДЛЯ АНАЛИЗА ПАРАЛЛЕЛОГРАММА БЕННЕТА

Хабидуллин Ф.Ф.

Научный руководитель: М.Г. Яруллин, д.т.н., профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье рассмотрены особенности выбора подвижных систем координат для исследования кинематики и динамики дезинтегратора с приводом на базе параллелограмма и антипараллелограмма Беннетта. Рассмотрена кинематическая цепь верхнего привода установки.

Введение

Конусный дезинтегратор дробления, имеющий в приводе параллелограмм и антипараллелограмм Беннетта (см. рис. 1) [1], в отличие от дезинтегратора [2] за счет неравномерного вращения ведомых кривошипов [3,4] обеспечивает более качественное и эффективное дробление материала.

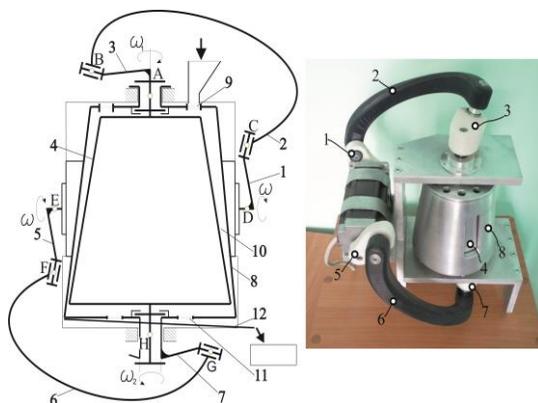


Рис. 1. Структурная схема и фотография модели дезинтегратора

Направляющие косинусы параллелограмма Беннетта

Для исследования кинематики и динамики этого механизма методом составления векторных уравнений необходимо определить направляющие косинусы. В свою очередь для нахождения направляющих косинусов необходимо выбрать подвижные системы координат. Для этого рассмотрим кинематическую схему параллелограмма Беннетта (см рис. 1) в виде векторного уравнения [5, 6].

$$\overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CD} = \overline{AD} \quad (1)$$

Для удобства математических преобразований и наглядности, подвижные системы координат свяжем со звеньями механизма с началом отчета в шарнирах и расположим их так, чтобы выполнялись следующие условия (см. рис.2) [7-10]: Ось Z_{AD}^A – расположена по оси шарнира в сторону кратчайшего расстояния звена [11]; Ось Y_{AD}^A - направлена вдоль звена AD в направлении от шарнира А к шарниру D; Ось X_{AD}^A - расположена так, чтобы оси $X_{AD}^A Y_{AD}^A Z_{AD}^A$ образовывали правую прямоугольную систему координат.

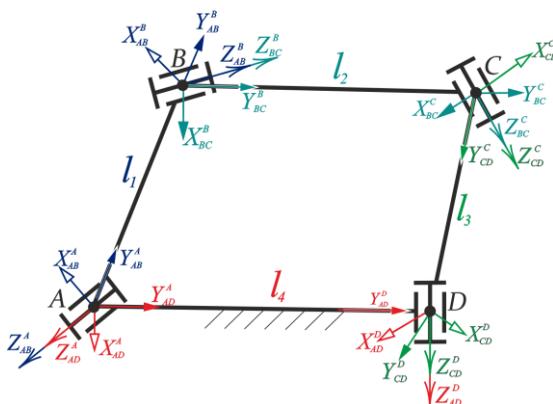


Рис. 2. Кинематическая схема параллелограмма Беннетта с подвижными системами координат

На месте соединения звеньев AD и AB (см. рис.2), шарнир A будет иметь две системы координат: $X_{AD}^A Y_{AD}^A Z_{AD}^A$ – система координат шарнира A связанная со звеном AD (неподвижный) $X_{AB}^A Y_{AB}^A Z_{AB}^A$ – система координат шарнира A связанной со звеном AB (подвижный). Система координат $X_{AB}^A Y_{AB}^A Z_{AB}^A$ шарнира A расположим так, чтобы выполняются следующие условия: оси $Z_{AB}^A = Z_{AD}^A$ направлены вдоль оси шарнира A в сторону кратчайшего расстояния звена; ось Y_{AB}^A направлена вдоль звена AB в направлении от шарнира A к шарниру B; ось X_{AB}^A направлена так, чтобы полученная система координат образовывала правую прямоугольную систему координат (см. рис.3).

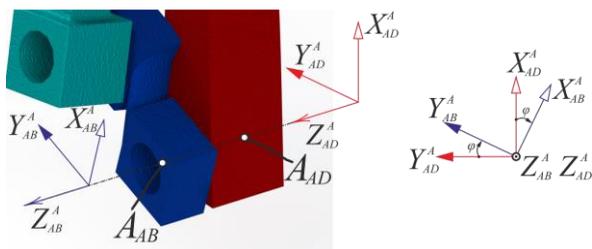


Рис.3. Расположение системы координат в шарнире A

Система координат $X_{AB}^B Y_{AB}^B Z_{AB}^B$ расположена так, чтобы выполнялись следующие условия (см. рис. 4):

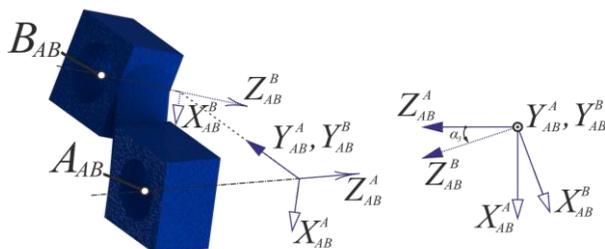


Рис.4. Расположение системы координат в шарнире B звена AB

Ось Z_{AB}^B – направлена по оси шарнира В в сторону кратчайшего расстояния звена АВ; Ось Y_{AB}^B - направлена вдоль звена АВ в направлении от шарнира А к шарниру В. Ось X_{AB}^B - расположена так, чтобы полученная система координат образовывала правую прямоугольную систему координат.

Аналогичным образом были определены системы координат, связанные с оставшимися шарнирами механизма. Для исследования кинематики звеньев механизма, имеющего четыре звена, необходимы восемь систем координат. Эти системы представлены в виде сводной таблицы на рисунке 5.

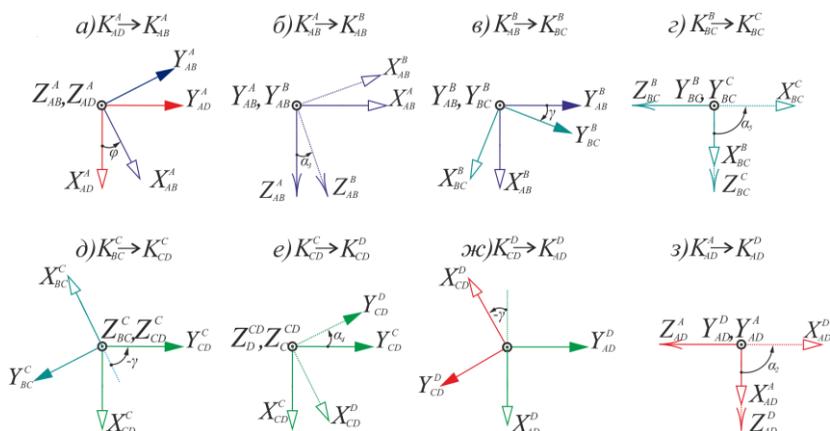


Рис. 5. Схема расположения подвижных систем координат в параллелограмме Беннетта

Для удобства определения направляющих косинусов при переходе от одной системы координат в другую они представлены в соответствующих плоскостях.

Закключение

Определены условия взаимоориентации подвижных систем координат, связанных с соответствующими подвижными звеньями механизма. Установленный порядок выбора ориентации подвижных систем координат позволит легко определить направляющие

косинусы, необходимые для составления и дальнейших исследований векторных контуров по кинематическому и динамическому расчетам.

Список литературы

1. Пат. 2581487 Российская Федерация, МПК В02С 2/10. Дезинтегратор неравномерного дробления/Яруллин М. Г., Мингазов М.Р., Исянов И.Р., Хабибуллин Ф.Ф.//опубл. 20.04.2016. Бюл. №11.

2. Пат. 2538389 Российская Федерация, МПК В02С2/04, В02С13/20. Дезинтегратор/Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф., Исянов И. Р.//опубл. 10.12.2014. Бюл. №1.

3. *Евграфов А.Н.* Расчет геометрических и кинематических параметров пространственного рычажного механизма с избыточной связью /А.Н.Евграфов, Г.Н. Петров // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2013. №3. с.3-8.

4. *Андреев П.С., Коноплев Ю.Г., Саченков О.А., Хасанов Р.Ф., Яшина И.В.* Математическое моделирование ротационной флекссионной остеотомии // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 18-21.

5. *Yarullin M.G., Khabibullin F.F.* Theoretical and Practical Conditions of Bennett Mechanism Workability/ Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2017. p. 145-153.

6. *Yarullin M.G., Khabibullin F.F., Isyanov I.R.* Nonlinear crushing dynamics in two-degree of freedom disintegrator based on the Bennett's linkage // Vibroengineering PROCEDIA, Vol. 8, 2016, p. 477-482, ISSN 2345-0533.

7. *Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф.* Теоретические и практические условия проворачиваемости механизма Беннетта // Современное машиностроение: Наука и образование: Материалы 5-й Международ. науч.-практ. конференции. / Под ред. М.М. Радкевича и А.Н. Евграфова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. –С 306-316.

8. *Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф.* К обоснованию структурных параметров механизмов приводов двухподвижного дезинтегратора // XII Международная научно-техническая конференция

"ВИБРАЦИЯ-2016".18.05.-20.05. 2016, С.263-269, ISBN 978-5-7681-1116-8.

9. Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф. Кинематика двухподвижного дезинтегратора с приводом на базе пространственных 4R механизмов.//Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. -2015. №1. с.108-111.

10. Яруллин М.Г., Хабибуллин Ф.Ф., Мингазов М.Р. Дезинтегратор с управляемым режимом дробления/ В сборнике: Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования X Международная научно-техническая конференция. 2015. С. 209-213.

11. Хабибуллин Ф.Ф., Яруллин М.Г. О динамике разрушения песчинки в конусном дезинтеграторе/ В сборнике: Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности Международная научно-практическая конференции. 2014. С. 455-458.

SELECTION AND SUBSTANTIATION OF MOBILE COORDINATE SYSTEMS FOR ANALYSIS OF BENNETT PARALLELOGRAM

Khabibullin F.

Supervisor: M. Yarullin, Doctor of Technical Sciences, Professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The article deals with the features of the choice of moving coordinate systems for the study of kinematics and dynamics of a disintegrator with a parallelogram drive and an antiparallelogram of Bennett. The kinematic chain of the top drive of the installation is considered.

СЕКЦИЯ 6

РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОМ-МУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

ПОДСЕКЦИЯ 6.1

**РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ
УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ**

УДК 621.395.4

ОБУЧАЮЩИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ ЛАБОРАТОРИИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Абдуллаева А.З.

Научный руководитель: Г.А. Морозов, докт. техн. наук, профессор
*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казань)*

В статье описывается проект лаборатории многоканальных телекоммуникационных систем на базе казанского техникума информационных технологий и связи. Лаборатория предназначена для обучения студентов техникума и высшей школы.

В настоящее время телекоммуникационные технологии быстро развиваются, это связано с тем, что отношение цена/качество на оборудование и направляющие системы, используемые при построении систем связи, постоянно снижается. Также постоянно растут запросы абонентов на предоставляемые услуги связи, что и определяет стремительное развитие телекоммуникаций. Набранный темп развития телекоммуникационных систем предопределяет и дальнейшее их совершенствование. Конечно, для этого необходимо уделять внимание развитию во всех отраслях промышленности и производства, и нужно улучшать и совершенствовать систему образования, ведь именно люди, их умственный и физический потенциал, определяли и определяют развитие технологий.

Развитие цифровых систем передачи непосредственно связано с развитием инфокоммуникационного общества. Современное общество уже немыслимо без общения, обмена информацией на том технологическом уровне, которого оно сейчас достигло.

Телекоммуникационные системы – это комплекс технических средств, обеспечивающих электрическую связь (электросвязь) определенного типа. Многоканальные телекоммуникационные системы представляют собой большие технические комплексы, в со-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОМ-
МУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ*

став которых входят функциональные узлы различного назначения и сложности.

Студенты, учащиеся по профилю «Многоканальные телекоммуникационные системы», «Фиксированные сети связи широкополосного доступа» проходят обучение и практику в лабораториях.

Для обеспечения студентов, необходимой материально-технической базой в МЦК КТИТС организована лаборатория «Многоканальные телекоммуникационные системы».

В лаборатории МТС осуществляется моделирование реальной транспортной сети (рис. 1), для проектирования которой были выбраны надежные и современные образцы оборудования, производства России. Это мультиплексоры PDH (ИКМ) ГМ-1GL производства ООО НПП «Зелакс» (г. Зеленоград), мультиплексоры SDH (СЦИ) FG-FOM16L2 производства ЗАО НТЦ «Натекс» (г. Москва), а также компоненты систем спектрального уплотнения DWDM из терминальных мультиплексоров (ТМ), мультиплексоров ввода-вывода (OADM), оптического усилителя (EDFA), и двух измерительных приборов (тестер Е1 и спектроанализатор WDM).

Все активные компоненты лаборатории поддерживают удаленный доступ для мониторинга и управления, что позволяет проводить комплекс лабораторных работ из отдельной аудитории, оснащенной персональными компьютерами. Студенты осуществляют стандартные операции техобслуживания, настройки, мониторинга, расследования повреждений и т.д.

Лаборатория «Многоканальные телекоммуникационные системы» располагает материально-технической базой, обеспечивающей проведение всех видов лабораторных и практических занятий, учебной практики, предусмотренных учебным планом образовательной организации. Лаборатория многоканальные телекоммуникационные системы соответствует действующим санитарным и противопожарным нормам.

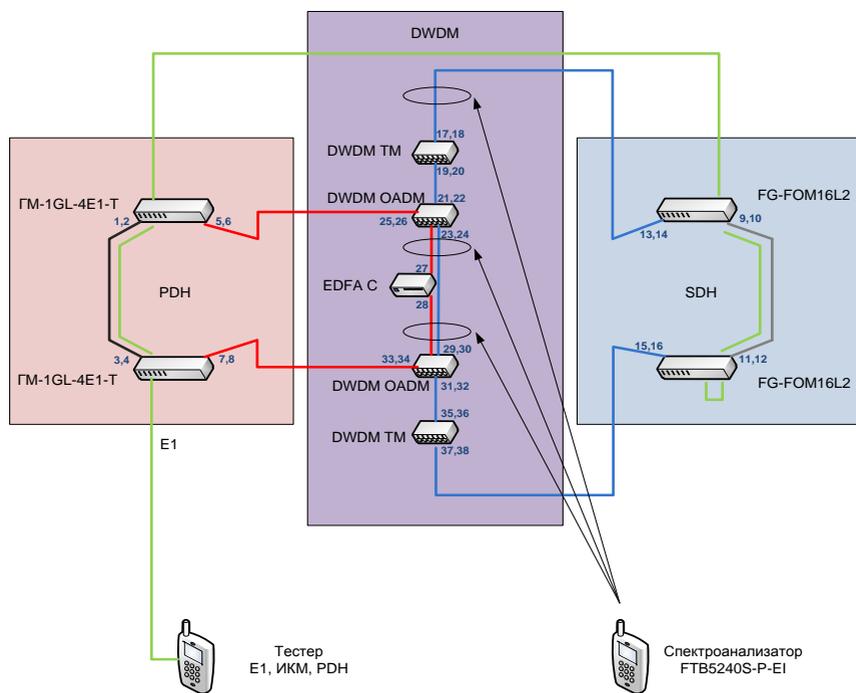


Рис. 1. Схема лаборатории МТС

Список литературы

1. Зелакс ГМ-1, Руководство пользователя: ГМ-1GB, ГМ-1GL. 2010 г.- 65 с.
2. Универсальная платформа FlexGain: FG-FOM16L2. «Краткое техническое описание». 2007 г. - 21 с.
3. Гордиенко В.Н. Многоканальные телекоммуникационные системы: учебник для вузов / Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 416 с.

TRAINING COMPLEX AT THE LABORATORY OF MULTICHANNEL TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Abdullaeva A.

Supervisor: G. Morozov, doctor of technical sciences, professor

*ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОМ-
МУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ*

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*

The article describes the project of the laboratory of multichannel telecommunication systems based on Kazan technical school of information technologies and communication. The laboratory is designed for students of technical schools and university learning students.

УДК 519.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ХАОТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аль Хуссейн А.Н.

Научный руководитель: В.В. Афанасьев,
профессор, докт. техн. наук

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Выполнены разработка и исследование моделей системы передачи данных с переключением хаотических режимов. Обоснованы инженерные рекомендации по разработке узлов систем связи с переключением хаотических режимов нелинейных динамических систем.

Совершенствование систем передачи информации на основе переключения хаотических режимов нелинейных систем является перспективным направлением развития систем связи с использованием эффектов динамического хаоса [1]. Оптимизация таких систем передачи информации неразрывно связана с разработкой и исследованием моделей формирователей многомерных хаотических сигналов на основе нелинейных динамических систем [2], а также моделей системы передачи данных с переключением хаотических режимов [3, 4].

Цель работы – разработка и исследование моделей системы передачи данных с использованием эффектов динамического хаоса для выработки и обоснования инженерных рекомендаций по разработке узлов системы связи с переключением хаотических режимов нелинейных динамических систем.

В работе проведено компьютерное моделирование в среде MatLab следующих блоков системы связи с переключением хаотических режимов: генератора многомерных хаотических сигналов на базе системы Чуа, блока задания начальных условий системы Чуа, передающего и приемного блоков системы передачи данных на основе метода переключения хаотических режимов. Проведено компьютерное моделирование генераторов трехмерных псевдослуч-

чайных сигналов на основе системы Чуа, исследованы особенности переключения хаотических режимов указанного типа систем с динамическим хаосом. В разработанной модели генератора хаотических сигналов заложена возможность изменения как параметров самой нелинейной системы Чуа, так и изменения начальных условий динамической системы при формировании сигналов.

В моделируемой системе, в качестве формирователей используются два блока Chua, соответствующие передаче сигналов “1” или “0”. В качестве источника информации при моделировании использовался генератор случайных двоичных чисел Bernoulli Binary Generator, с возможностью вариации скорости передачи информации. Два блока Simulink Switch использовались в качестве переключателей информационных потоков. Выходные сигналы блока Simulink Switch проходят через блок AWGN Channel для получения зашумленных модулированных псевдослучайных сигналов. Получены результаты оценки влияния отношения сигнал / шум на скорость передачи информации в моделируемой системе связи.

В модели приемного устройства, принимаемый сигнал разделяется на 2 канала, в каждом из которых сигнал проходит через сумматор Add, на второй вход которого подаются выходные сигналы одного из двух генераторов хаотического сигнала Chua, соответствующих передаваемым сигналам. На вход каждого из генераторов хаотического сигнала Chua, со встроенной управляемой базы данных начальных условий, поступают значения начальных условий 3-D сигналов системы с динамическим хаосом, а также задается временной интервал их изменения. Результат вычитания сигнала в блоке Add возводится в квадрат в блоке Product, а затем поступает на вход интегрирующего блока Integrator. Выходные сигналы интеграторов поступают на входы блока Sample and Hold, далее сигналы поступают в блок сравнения Relational Operator. В результате сравнения и выбора наибольшего, формируются выходные сигналы, соответствующие приему сигналов “1” или “0”. При проведении моделирования, проводился сравнительный анализ передаваемого и принимаемого сигналов с численной оценкой их параметров и характеристик.

Разработанная модель генератора хаотических сигналов поз-

воляет исследовать влияние на достоверность передачи информации изменения начальных условий и параметров в системе Чуа, обосновывать периодичность смены значений начальных условий 3-D сигналов системы с динамическим хаосом. Разработанные модели системы передачи данных с переключением хаотических режимов, дают возможность варьировать длительность импульса передаваемого сигнала, изменять скорость передачи данных по каналу связи и оценивать число правильно принятых битов передаваемой информации. Разработанные модели позволили численно оценить уровень ошибок в случае изменения сигнально-помеховой обстановки, при различных отношениях сигнал / шум в канале связи.

При передаче информации методом переключения хаотических режимов частота ошибок зависит от соотношения параметров генератора и от мощности сигнала. В работе на основе проведенного моделирования получены численные оценки зависимостей, представленные в таблице, где α_1, α_2 – параметры генераторов Чуа 1, 2 соответственно, SNR-отношение сигнал / шум.

Таблица

Параметры генераторов Чуа $\beta = 14, \lambda = 0, k = 1, a = -1/7, b = 2/7$	Соотношение сигнал / шум (SNR) (dB):	Объем данных (Битов)	Количество ошибок Сигнал X	Количество ошибок Сигнал Y	Количество ошибок Сигнал Z
$\alpha_1 = 9$	15	100	49 bit	39 bit	48 bit
		1000	466 bit	505 bit	514 bit
$\alpha_2 = 9.1$	30	100	50 bit	34 bit	46 bit
		1000	496 bit	422 bit	490 bit
$\alpha_1 = 9$	15	100	7 bit	25 bit	5 bit
		1000	79 bit	234 bit	73 bit
$\alpha_2 = 9.5$	30	100	4 bit	11 bit	3 bit
		1000	49 bit	114 bit	47 bit

По представленным в таблице данным возможна оценка требуемого отношения сигнала / шум для обеспечения уровня ошибок не ниже заданного, при передачи данных в системе связи с переключением хаотических режимов нелинейных динамических систем Чуа.

По результатам проведенного моделирования, для повышения эффективности передачи информации в системах связи с переключением хаотических режимов нелинейных динамических систем, можно дать следующие рекомендации. В целях повышения конфиденциальности передачи информации и синхронизации генераторов рекомендуем использовать секретный ключ блока задания начальных условий, т.е. передавать из передатчика в приемник только секретный ключ, соответствующий номеру матрицы. Внесенный номер матрицы дает возможность идентификации абонентов, что позволит увеличить скорость передачи информации и повысить безопасность системы передачи данных методом переключения хаотических режимов.

Таким образом, разработанные модели системы передачи данных могут служить полезным средством исследования и оптимизации параметров систем конфиденциальной связи с переключением хаотических режимов на базе нелинейных систем Чуа с динамическим хаосом.

Список литературы

1. *Афанасьев В.В., Логинов С.С.* Импульсные случайные процессы в анализе и диагностике нелинейных систем с динамическим хаосом. // Радиотехника и электроника. 2013. Т. 58. № 4. С. 382–388.

2. *Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е.* Формирователи двоичных псевдослучайных сигналов на основе управляемых систем Лоренца и Чуа. // Телекоммуникации. 2012. N 12. С. 26–30.

3. *Афанасьев В.В., Логинов С.С.* Многомерные негармонические спектры в диагностике управляемых формирователей псевдослучайных сигналов на основе систем с динамическим хаосом. // Инфокоммуникационные технологии. 2013. Т. 12. № 2. С. 9–13.

4. *Аль Хуссейн Алаа Наджи, Афанасьев В.В.* Особенности оптических систем связи с переключением хаотических режимов ди-

намических систем. Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2017. Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2017. – С. 373–375.

**MODELING OF THE DATA TRANSFER
SYSTEM WITH SWITCHING OF CHAOTIC MODES
OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS**

Al Hussein A.N.

Supervisor: V. Afanasyev, Doctor of Engineering Sciences, professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

The development and research of data transmission systems with switching of chaotic regimes are conducted. The engineering recommendations for the development of communications subsystems with switching of chaotic modes of nonlinear dynamical systems are considered.

УДК 004.7

РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ САЛОНА АВИАЦИОННОГО ЛАЙНЕРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЕТИЛЬНИКОВ В СОСТАВЕ Li-Fi СИСТЕМЫ

Алькулиах Амджид Абдулрахман. А. К.

Научный руководитель: В.И. Воронов, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева — КАИ, г. Казань)

В данной работе рассмотрено использование лампы для чтения в качестве точки доступа для Li-Fi системы. На основе программы DIALux, разработана модель для расчета освещенности разных салонов авиационного лайнера при одном и том же светильнике.

Введение

Беспроводная связь посредством светодиодов (Li-Fi) является двунаправленной, высокоскоростной и полностью сетевой технологией беспроводной связи, похожей на Wi-Fi. Радиоволны создают электромагнитные помехи, которые могут вызывать сбои в работе навигационного оборудования самолёта, а также вносить искажения в работу наземных сетей. Li-Fi система решает эту проблему, используя освещение салона самолёта для передачи данных.

В ряд последних публикаций [1, 2, 3] выражается значительный интерес к использованию Li-Fi системы в самолетах и космических аппаратах. Светильники для чтения в блоке обслуживания пассажиров выполняют две функции. Первая функция – освещение зоны сидения пассажира. Вторая – передача в эту зону Li-Fi сигнала. Как показано на рисунке 1, светильник для чтения освещает зону сидения пассажира. Одновременно с этим сигнал от светильника передает информацию для связи с ноутбуком или другим устройством, имеющимся у пассажира.

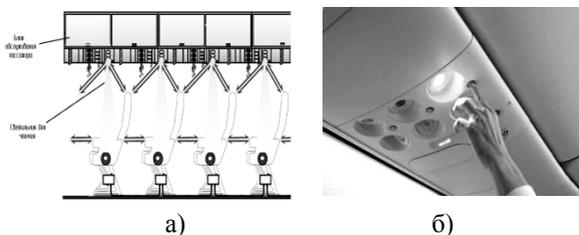


Рис. 1 – Пояснение принцип работы Li-Fi систем:

(а) – Схематическое пояснение Li-Fi систем.

(б) – Типичное расположение светильников в салоне самолета

В данной статье поставлена задача, выяснить в каком типе авиационного лайнера Li-Fi система наиболее эффективна в отношении освещенности пассажирского места.

Согласно [4] требуемая освещенность сидения каждого пассажира находится в пределах 150 – 250 лк.

Высококачественные светильники доступны от коммерческих поставщиков. Среди этих светильников часто используются (SLV 111182 PIKA).

В работе рассмотрен один ряд из трех сидений. Обычно стены салонов авиационных лайнеров имеют белую окраску, поэтому в модели салона и стены считаются покрытыми высоким светоотражающим материалом, одновременно с этим сиденья моделируются светоотражающим материалом порядка от 60% от отражательной способности.

Ниже представлены модели системы, разработанные в программе DIALux, для расчета освещенности салонов авиационного лайнера 4-х разных семейств, а именно Airbus a320, Boeing 737, Sukhoi Superjet 100 и Tu-204: Освещенность рассчитывалась для типичной высоты расположения столиков посадочных мест, равной 0,78 м.

На рисунке 2 представлена модель расположения светильников в соответствии с реальными размерами салона авиационного лайнера Airbus a320 [5]. На рисунке 2 а) показан 2D-профиль поперечного сечения фюзеляжа самолета Airbus a320 с основными размерами. На рисунке 2 б) представлен вид сверху модели фюзеляжа с рядами

посадочных мест

ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

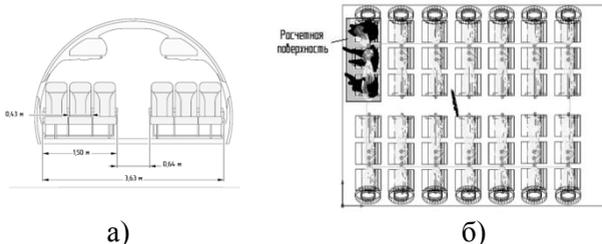


Рис. 2 – Модель салона лайнера Airbus a320:

(а) – 2D-профиль поперечного сечения фюзеляжа самолета Airbus a320 с основными размерами. (б) – Вид сверху модели фюзеляжа

Ниже представлены результаты моделирования данной модели в графическом и численном виде показаны на рисунках 3 и 4 соответственно:

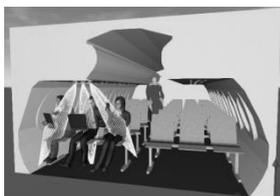


Рис. 3 – Модель освещения посадочных мест в салоне Airbus a320

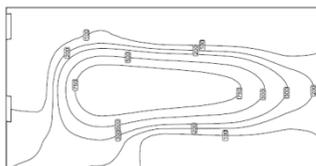


Рис. 4 – Распределение освещенности посадочных мест лайнера Airbus a320

Таблица 1

Среднее значение освещенности расчетной поверхности № 1	280 [лк]
Максимальное значение освещенности расчетной поверхности № 1	1174 [лк]

Расположение светильников, пассажирских сидений и их размеры в салонах лайнеров Boeing 737, Sukhoi Superjet 100 и Tu-204, в статье не показаны, поскольку они не имеют определяющего значения, хотя и учтены в модели.

Результаты моделирования освещенности салона Boeing 737 в графическом и численном виде показаны на рисунках 5 и 6:

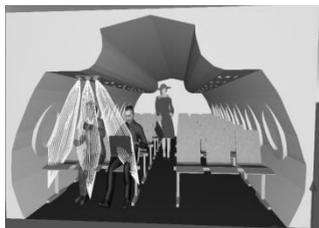


Рис. 3 – Модель освещения посадочных мест в салоне Boeing 737

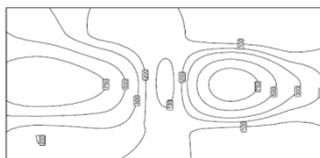


Рис. 4 – Распределение освещенности посадочных мест лайнера Boeing 737

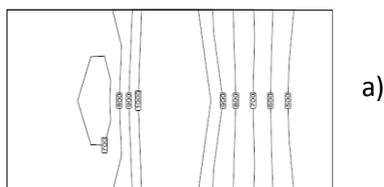
Таблица 2

Среднее значение освещенности расчетной поверхности № 1	312 [лк]
Максимальное значение освещенности расчетной поверхности № 1	1111 [лк]

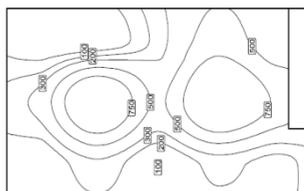
Результаты моделирования освещенности салона Sukhoi Superjet 100 в графическом и численном виде представлены на рисунках 7 и 8:



Рис. 7 – Модель освещения посадочных мест в салоне Sukhoi Superjet 100.



а)



б)

Рис.8 – Распределение освещенности посадочных мест лайнера Sukhoi Superjet 100.

(а) – Изолинии освещенности расчетной поверхность № 1.

(б) – Изолинии освещенности расчетной поверхности № 2

Таблица 3

Среднее значение освещенности расчетной поверхности № 1 на высоте 0,78 м	431 [лк]
Максимальное значение освещенности расчетной поверхности № 1	1336 [лк]
Среднее значение освещенности расчетной поверхности № 2	401 [лк]
Максимальное значение освещенности расчетной поверхности № 2	1208 [лк]

Результаты моделирования освещенности салона Tu-204 в графическом и численном виде представлены на рисунках 9 и 10:

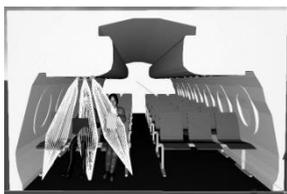


Рис. 9 – Модель освещения посадочных мест в салоне Tu-204

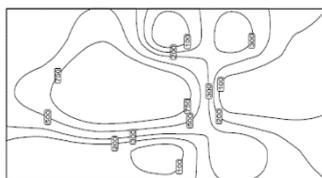


Рис. 10 – Распределение освещенности посадочных мест лайнера Tu-204

Таблица 4

Среднее значение освещенности расчетной поверхности	436 [лк]
Максимальное значение освещенности расчетной поверхности	1353 [лк]

Необходимо отметить, что освещенность посадочных мест играет определяющее значение в линии связи Li-Fi систем, поскольку светодиодные светильники одновременно являются передатчиками информационных сигналов. Поэтому их мощность должна быть существенно выше внешнего излучения, попадающего в салон из иллюминаторов, а также мощности рассеянного и отраженного стенами салона света для обеспечения требуемого отношения сигнал / шум.

Заключение

По результатам выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. С помощью численного моделирования в пакете DIALux разработана модель и выполнен расчет освещенности салонов авиационных лайнеров для различных моделей самолетов.

2. Результаты моделирования освещенности в ряде лайнеров (Airbus a320, Boeing 737, Sukhoi Superjet 100, Tu-204), показывают, что освещенность посадочных мест в салоне авиационного лайнера Tu-204 имеет наибольшее значение (436 лк), а наименьшее значение имеет освещенность посадочных мест в салоне Airbus a320 (280 лк).

Список литературы

1. *Mohsen Kavehrad*, "Broadband Room Service by Light," Scientific America, pp. 82–87, July 2007.

2. *C. Quintana, V. Guerra, J. Rufo, J. Rabadan, R. Perez-Jimenez*: Reading lamp-based visible light communication system for in-flight entertainment, IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 59, no. 1, pp. 31–37, Feb. 2013.

3. *D. Krichene, M. Sliti, W. Abdallah and N. Boudriga*, "An aeronautical visible light communication system to enable in-flight connectivity," 2015 17th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Budapest, 2015, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICTON.2015.7193336

4. Исследование РБК: на чем летает Россия, [электронный ресурс], – режим доступа: <http://www.rbc.ru/research/society/27/11/2015/564de81a9a79472dab71463a> (дата обращения: 05.02.2017)

5. Aircraft characteristics airport and maintenance planning, [электронный ресурс], – режим доступа: http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/tech_data/AC/Airbus_AC_A320_Jun16.pdf (дата обращения: 21.07.2016)

CALCULATION OF ILLUMINATION OF INDOOR AERONAUTICAL USING WHITE LEDs APPLIED

AS A POINT ACCESS OF Li-Fi SYSTEM

Amged A. Alquliah

Supervisor: V. Voronov, Prof. Dr.

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)*

In this paper, we consider the use of reading lights as an access point for Li-Fi system, and also based on the DIALux program, a model is developed for calculating the illumination of different airliner cabinets with the same lamp.

УДК 621.396.49

ПЛАНИРОВАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ ФРАГМЕНТА СЕТИ WI-FI

Блохин С.В., Магдеева А.Р., Хайруллина Л.Р.

Научный руководитель: С.В. Козлов, докт. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье проводится верификация уровней сигнала и скоростей передачи данных, получаемых при планировании сети на примере конкретного помещения. По результатам были построены карты отклонений расчётных уровней сигналов и скоростей передачи данных от экспериментальных и сделан вывод, что для оценки уровня сигнала сетей стандарта 802.11n в рассмотренном помещении правильнее использовать рекомендацию МСЭ-R P.1238-8, а для оценки скорости передачи данных необходимо использовать более сложные методы.

В настоящее время широкое распространение получили сети WI-FI. Планирование таких сетей внутри помещений требует возможности оценки уровней сигнала и скоростей передачи данных с учетом реального плана помещения. На сегодняшний день существует ряд рекомендаций по прогнозированию уровня сигнала для систем радиосвязи, разворачиваемых внутри помещений, а также программных комплексов, позволяющих рассчитывать зоны покрытия и скорости передачи данных. Однако, применение этих рекомендаций, а, следовательно, и программных комплексов требуют знания большого количества параметров помещений, которые в реальности точно не известны. В связи с этим актуальной задачей является верификация уровней сигнала и скоростей передачи данных, получаемых при планировании сети на примере конкретного помещения.

Для этого осуществим планирование WI-FI сети кафедры РТС на 5-м этаже 5-го учебного здания КНИТУ-КАИ. Сеть содержит 3 точки доступа (AP), работающие на соседних частотных каналах, в диапазоне частот 5ГГц. План кафедры РТС с указанием расположения AP и возможных мест расположения абонентов, в

ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

которых проводилась оценка параметров сети, приведен на рисунке 1.

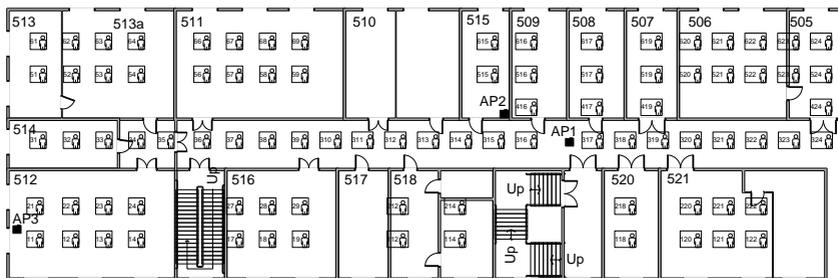


Рис. 1. План кафедры РТС

Для каждой из точек возможного расположения абонентов проводилась оценка уровня сигнала по рекомендации МСЭ-R P.1238-8 [1], на основе которой по спецификации стандарта 802.11n [2] определялась скорость передачи данных. В этих точках также проводилась оценка уровней сигналов и скорости передачи данных с помощью программного комплекса «Ekaahu site survey» [3], а также измерение этих параметров с помощью мобильного телефона «Xiaomi mi4c».

Уровни сигналов, полученные с помощью мобильного телефона «Xiaomi mi4c» с программным обеспечением «Уровень сигнала» приведены на рисунке 2.

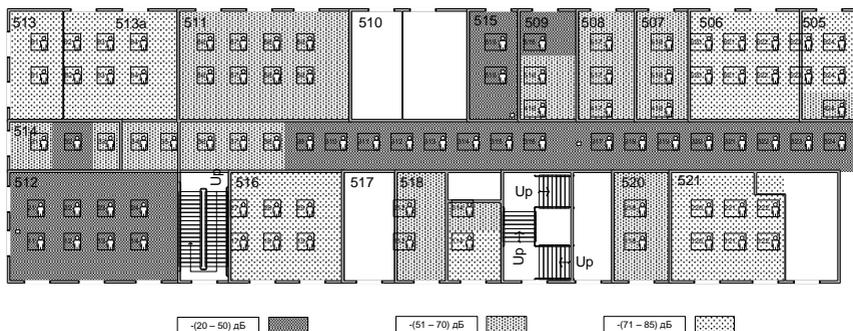


Рис. 2. Карта уровней сигнала, построенная по экспериментальным данным

Расчётные значения уровней сигнала определялись исходя из параметров AP и потерь при распространении радиоволн, вычисленных согласно рекомендации МСЭ-R P.1238-8 по формуле:

$$L_{total} = L(d_0) + N \cdot \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + L_f(n), \quad (1)$$

где $L(d_0) = 20 \cdot \lg(f) - 28$ – потери в свободном пространстве (Дб) для эталонного расстояния $d_0 = 1$ м и частоты f , выраженной в МГц;

N – дистанционный коэффициент потерь мощности;

d – расстояние между точкой доступа и местом расположения абонента ($d > 1$ м);

$L_f(n)$ – коэффициент потерь за счет прохождения сигнала через пол (дБ);

n – количество этажей между точкой доступа и местом расположения абонента ($n \geq 0$), $L_f(0) = 0$.

Так как сеть развёрнута на одном этаже и других сетей, работающих в диапазоне частот 5 ГГц в пятом здании КНИТУ-КАИ нет, то коэффициент $L_f(n) \equiv 0$.

Также уровни сигналов в точках расположения абонентов определялись с помощью программного комплекса «EkaHau site survey».

Карты отклонения уровней сигналов, полученных с использованием рекомендации МСЭ-R P.1238-8 от экспериментальных значений приведены на рисунке 3, а уровней сигналов, полученных с помощью программного комплекса «EkaHau site survey» – на рисунке 4.

ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

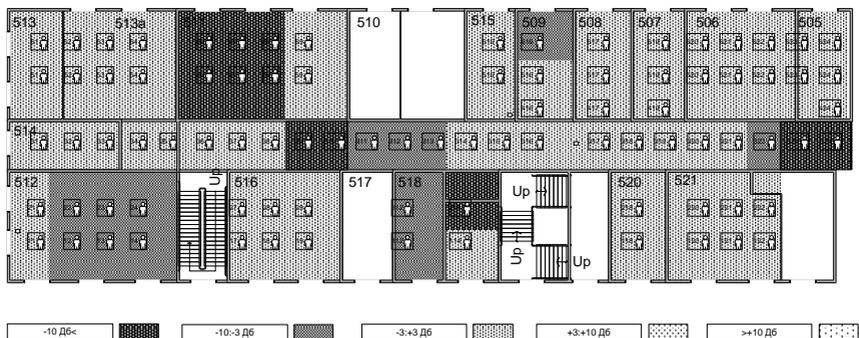


Рис. 3. Карта отклонения уровней сигналов, полученных с использованием рекомендации МСЭ-R P.1238-8 от экспериментальных значений

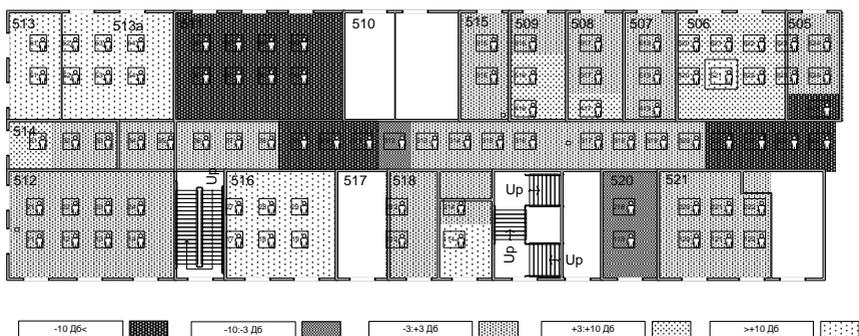


Рис. 4. Карта отклонения уровней сигналов, полученных с помощью программного комплекса «Ekaheu site survey» от экспериментальных значений

Из данных приведённых на рисунке 3 следует, что уровни сигналов, полученные с использованием рекомендации, во всех точках меньше или сравнимы с измеренными значениями, что обеспечивает работоспособность сети при её планировании на основе рекомендации МСЭ-R P.1238-8.

Как следует из рисунка 4, значения уровней сигналов, полученные с помощью программного комплекса «Ekaheu site survey», в ряде точек оказываются завышенными по сравнению с измеренными, что не гарантирует работоспособность сети при её планировании с использованием этого программного комплекса.

Далее для каждой точки возможного расположения абонентов были получены оценки скорости передачи данных по спецификации стандарта 802.11n на основе уровней сигналов, рассчитанных с использованием рекомендации МСЭ-R P.1238-8, с помощью программного комплекса «Ekaahu site survey», а также с помощью мобильного телефона «Xiaomi mi4c» с программным обеспечением «AndiFtp». Карты отклонения скоростей передачи данных, полученных с использованием спецификации стандарта 802.11n от экспериментальных значений приведены на рисунке 5, а скоростей передачи данных, полученных с помощью программного комплекса «Ekaahu site survey» – на рисунке 6.

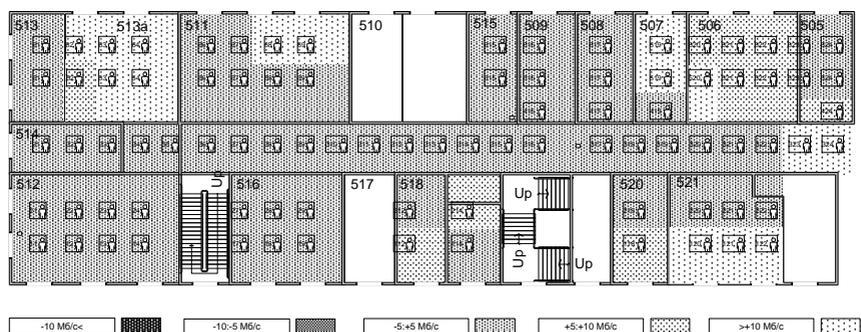


Рис. 5. Карта отклонения скоростей передачи данных, полученных с использованием спецификации стандарта 802.11n от экспериментальных значений

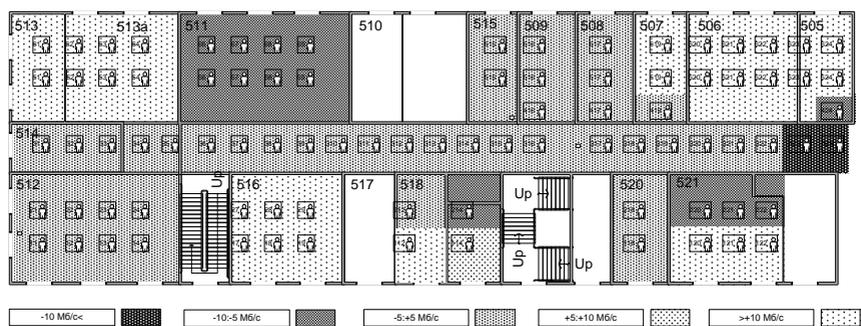


Рис. 6. Карта отклонения скоростей передачи данных, полученных с помощью программного комплекса «Ekaahu site survey» от экспериментальных значений

Из данных приведённых на рисунке 5 следует, что оценки скорости передачи данных по спецификации стандарта 802.11n практически во всех точках больше или сравнимы с измеренными значениями, при сравнимых и заниженных значениях уровней сигналов.

Как следует из рисунка 6, значения оценки скорости передачи данных, рассчитанных с помощью программного комплекса «EkaHau site survey», тоже сильно отличаются от измеренных значений.

Таким образом, для оценки уровня сигнала сетей стандарта 802.11n в рассмотренном помещении правильнее использовать рекомендацию МСЭ-R P.1238-8, а для оценки скорости передачи данных необходимо использовать более сложные методы.

Список литературы

1. Рекомендация МСЭ-R P.1238-8. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования систем радиосвязи внутри помещений и локальных зоновых радиосетей в частотном диапазоне 300 МГц – 100 ГГц. [электронный ресурс] http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-8-201507-I!!PDF-R.pdf.
2. IEEE Std 802.11nTM-2009. [электронный ресурс] <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11n-2009.pdf>.

THE PLANNING AND VERIFICATION OF WI-FI NETWORK SEGMENT

Blokhin S., Magdeeva A., Khairullina L.

Scientific supervisor: S. Kozlov,

Doctor of technical sciences (Dr. Sc.), associate professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The article verifies the signal levels and data rates obtained in the planning of the network by the example of a particular room. Based on the results,

deviations maps for calculated and experimental signal levels and data rates were constructed and it was concluded that in order to estimate the 802.11n networks signal level in the considered room, it is more correct to use ITU-R P.1238-8 recommendation and it is necessary to use more sophisticated methods for data rate estimation.

УДК 621.396.94

ОПТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ СПУТНИКАМИ ФОРМАТА CUBESAT

Гибалина З.С., Фадеев В.А.

Научный руководитель: А.К. Гайсин

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

В работе рассматриваются возможности реализации оптической межспутниковой связи в формате спутников Cubesat. Оптическая связь может обеспечить более высокую скорость передачи данных, безопасность, более низкое энергопотребление и уменьшение массы спутника. Однако, формат Cubesat накладывает собственные параметрические, энергетические и другие ограничения.

В настоящее время растет тенденция к минимизации параметров устройств и систем. При этом требования к производительности систем увеличивается. Эта тенденция коснулась и области космических технологий. Таким образом, в 1999 году профессора Калифорнийского политехнического государственного университета Хорди Пуиг-Суари и Стэнфордского университета Боб Твиггс представили первый проект миниатюризированного спутника CubeSat [1]. Такой формат спутника изначально был предназначен исключительно для исследовательских проектов, которые могли бы быть использованы студентами. Однако идея малых спутников обретает все большую популярность среди радиотехников. Существует множество компаний, заинтересованных в небольших и дешевых спутниках, которые могут решать аналогичные задачи (космические исследования, наблюдение Земли, любительское радио).

Cubesat – формат низкоорбитальной спутниковой системы с массой около 1,33 кг на единицу. Существующие форматы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Форматы спутниковых систем Cubesat

ФорматCubesat	Параметры, см	Масса, кг
---------------	---------------	-----------

1 U	10x10x10	1,33
1.5 U	15x10x10	2
2 U	20x10x10	2,66
3 U	30x10x10	4
6 U	30x20x10	12

Многие компании, специализирующиеся на космических технологиях, заинтересованы в формате Cubesat. Ниже перечислены наиболее популярные и обширные проекты с данными спутниками:

– Международная программа QB50 под руководством Института Кармана и компании ISIS (Нидерланды, Китай и Россия). Планируется развернуть группу из 50 спутников для научных исследований нижних слоев термосферы;

– Программа Colony I (США) обеспечивает запуск 12 Cubesat в ближайшие несколько лет;

– Программа Colony II в рамках плана по запуску дополнительных спутников от 20 до 50 после завершения программы Colony I.

НАСА разработали систему для типа связи спутник Cubesat-Земля с использованием оптической линии (рис. 1). Основная миссия будет использовать модулированный волоконный лазер мощностью 10 Вт с угловой шириной луча в 1.4° размер 1.5U Cubesat (AeroCube-OCSD) и телескоп диаметром 30 см, расположенный на горе Уилсон в южной Калифорнии для принятия оптического сигнала. Проект планирует продемонстрировать оптическое соединение от 5 Мбит / с до 50 Мбит / с [5].

ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

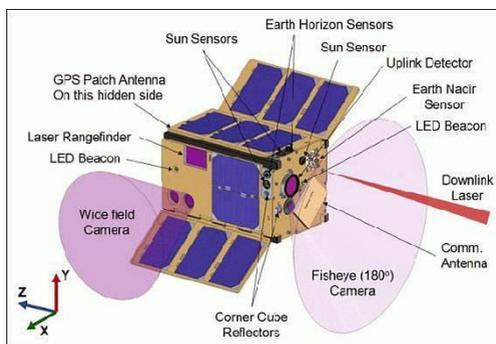


Рис. 1. Схема наноспутника AeroCube-OCSD [5]

В данной работе мы рассмотрим тип межспутниковой связи Cubesat – Cubesat. Этот тип связи (рис. 2) необходим для обмена информацией между спутниками и может использоваться в качестве реле для передачи данных на землю.

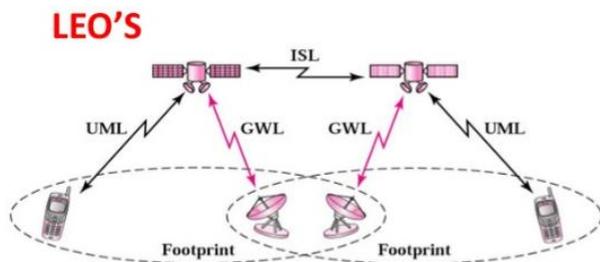


Рис. 2. Модель межспутниковой связи [6].

ISL – межспутниковый канал; GWL – канал с наземной шлюзовой станцией; UML – канал связи с абонентским мобильным терминалом

Наиболее распространенным типом связи является радиочастотная связь. Тем не менее возрастает интерес к другому типу связи, а именно, к оптической связи. Оптическая связь может обеспечить существенные преимущества по сравнению с радиочастотным типом связи.

Примером проекта, использующего радиочастотную межспутниковую связь является проект QB50. Миссия QB50 направлена на апробацию возможности совместного запуска и работы групп

пы из 50 спутников формата Cubesat и исследования нижних слоёв термосферы. Расстояние между Cubesat составляет 90 км, скорость передачи данных по восходящей и нисходящей линии связи составляют 9600 бит / с и скорость передачи межспутниковой связи могут принимать значения от 0,5 кбит/с до 10 кбит/с [4].

Оптическая межспутниковая связь на данный момент не реализована в формате Cubesat. Однако, следует заметить, что существуют примеры успешного внедрения оптической связи в больших (1000 кг) и малых спутниках (100 кг).

Оптическая межспутниковая связь обладает важными преимуществами:

- Более высокая скорость передачи данных;
- Более точная направленность луча;
- Низкий уровень ошибок.

Однако, узкая направленность луча является не только преимуществом, но и основной проблемой, так как в формате Cubesat существуют ограничения на размеры и потребляемую мощность. Вопросы отслеживания, установления связи и ее сохранение в такой миниатюрной системе также должны быть решены.

Наиболее известными проектами с оптической межспутниковой связью являются:

1. Экспериментальная лазерная система связи SILEX, разработанная Европейским космическим агентством (ESA) и французским космическим агентством CNES (большие спутники) (LEO-GEO: 36500 км, 42000 км) [6];

2. STRV-2 – экспериментальный проект, построенный научно-исследовательским центром JPL (НАСА) для полетов по программе космических испытаний малый спутников TSX-5 (не более 100 кг). Компания-изготовитель AstroTeerra, масса терминала от 14 кг, потребляемая мощность около 56 Вт в режиме ожидания и 95 Вт в активном режиме, скорость передачи данных составляет до 1,24 Гбит / с. Запущен на расстояниях 1600 км (спутник – спутник) и 1700 км (спутник – земля) [7];

3. LaserCom (эксперимент для лазерной связи): демонстрируют высокоскоростную инфракрасную лазерную связь между спутником и другими платформами. Масса – 14,3 кг, телескопы приемопередатчика – 13,8 см, потребляемая мощность составляет

125 мВт каждый, длина волны 810 нм (ширина угла 80 мрад), два лазера для установления связи и отслеживания с энергопотреблением 100 мВт каждый (852 нм, расхождение 500/1500 мрад) [7].

В ходе работы были проанализированы возможности формата малых спутников CubeSat. На основании литературного обзора, можно вести речь об актуальности данного направления в сфере космических исследований и телекоммуникаций. Особенно перспективным является использование оптических межспутниковых каналов в силу того, что оптическая связь обладает важными преимуществами по сравнению с радиочастотной связью. Что подтверждает актуальность дальнейшего изучения перспектив межспутниковой оптической связи для спутников малых форматов. Тем более что первичная оценка технических возможностей CubeSat не выявляет критических ограничений для обеспечения оптической связи.

Список литературы

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/CubeSat>.
2. CubeSat Design Specification Rev. 13 The CubeSat Program, Cal Poly SLO, <http://www.cubesat.org>.
3. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_CubeSats.
4. <https://www.qb50.eu>.
5. S.W. Janson, R.P.Welle, 'The NASA Optical Communication and Sensor Demonstration Program: An Update', 28th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellite, The Aerospace Corporation, 2014.
6. T. Tolker-Nielsen, J-C. Guillen, SILEX: The First European Optical Communication Terminal in Orbit, ESA, 1998.
7. Herbert J. Kramer, 'Observation of the Earth and Its Environment: Survey of Missions and Sensors', Springer Science & Business Media, 2002.
8. https://en.wikipedia.org/wiki/On-off_keying.
9. Srewart D. Personick, Optical Detectors and Receivers, Journal of Lightwave technology, VOL. 26, NO. 9, May 1, 2008.
10. J.M. Kahn, Wireless Infrared Communications, IEEE, VOL. 85, NO. 2, February, 1997.

**OPTICAL COMMUNICATION BETWEEN
THE SATELLITES OF THE CUBESAT FORMAT**

Gibalina Z., Fadeev V.

Supervisor: A. Gaysin

*(Kazan National Research Technical
University named after A. N. Tupolev–KAI, Kazan)*

The paper considers the possibilities of realizing optical inter-satellite communication in the format of Cubesat satellites. Optical communication can provide a higher data transfer rate, security, lower power consumption and a decrease in the mass of the satellite. However, the Cubesat format imposes its own parametric, energy and other constraints.

УДК 621.37 + 681.325.3

КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТОЙ

Денисов А.

Научный руководитель: Д.П. Данилаев, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В докладе рассмотрен подход к построению устройства для шифрования и передачи информации по каналу связи. Предложена структура устройства, позволяющая добиться универсальности устройства. Приведены схемы согласования модулей.

Информация – это одна из самых ценных вещей в современной жизни. Появление глобальных компьютерных сетей сделало простым получение доступа к информации. Легкость и скорость доступа к данным с помощью компьютерных сетей, таких как Интернет, сделали значительными следующие угрозы безопасности данных:

- неавторизованный доступ к информации;
- неавторизованное изменение информации;
- неавторизованный доступ к сетям и другим сервисам.

На сегодняшний день для защиты информации от несанкционированного доступа применяется большое количество программных, аппаратных и программно-аппаратных средств.

Однако эти устройства не отличаются универсальностью. А хотелось бы получить универсальное устройство, позволяющее:

- Менять метод кодирования;
- Использовать разные каналы связи (GPRS, Bluetooth, радиоканал, оптический канал, Internet, Wi-Fi и т.д.);
- Сделать доступным для пользователя смену ключа шифрования в любой момент;
- Сделать возможным подключение к различным источникам данных.

Такой универсальностью может обладать устройство на мик-

роконтроллере. Устройство будет использоваться для передачи зашифрованных текстовых, графических и звуковых сообщений.

Целью данной работы является создание программно-аппаратного устройства, которое обеспечит надежную защиту передаваемой информации и будет универсально в выборе методов шифрования, возможности подключения к различным устройствам и способов беспроводной передачи информации.

Методы шифрования

На сегодняшний день существует большое количество методов шифрования, которые написаны программно и активно используются, не смотря на мощности компьютеров способных взломать шифр.

Для шифрования будем применять только известные методы шифрования. Единственное что пользователь должен знать о методах, так это то, что методы шифрования бывают двух видов: симметричные и асимметричные. В симметричных криптосистемах для шифрования и дешифрования используется один и тот же ключ. Алгоритм и ключ выбирается заранее и известен обеим сторонам. А в асимметричных системах используются два ключа – открытый и закрытый. Открытый ключ является общеизвестным и используется для шифрования сообщения. Для расшифровки сообщения используется секретный ключ.

Использование, какого либо из методов зависит от целей, с которыми информация подвергается шифрованию. В случае, когда зашифрованную информацию передают несколько устройств, а принимает одно, целесообразней будет применить асимметричный метод шифрования, но не стоит забывать что при использовании этого метода, нужно проводить проверку на подлинность принятого сообщения. В том случае, когда система состоит из одного передающего и одного принимающего устройства, то лучше использовать симметричный метод шифрования.

В нашем случае методы будут выполнены в виде программ.

Аппаратное устройство шифратора

В этом разделе мы рассмотрим, как устроены аппаратные шифраторы, чтобы определить какие функции будет выполнять микроконтроллер.

Аппаратный шифратор чаще всего представлен в виде платы,

вставляемой в разъем ISA или PCI системной платы компьютера. Либо бывают менее функциональные, но более компактные устройства в виде USB-ключа с криптографическими функциями. В нашем случае шифратор будет представлять собой подключаемое внешнее устройство.

Прежде всего, аппаратная реализация алгоритма шифрования гарантирует неизменность самого алгоритма и исключает какое-либо вмешательство в процесс шифрования. Для аппаратных шифраторов данное свойство является преимуществом, в нашем же случае цель состоит в обратном, а именно в возможности изменять метод шифрования.

Структура шифратора имеет вид:

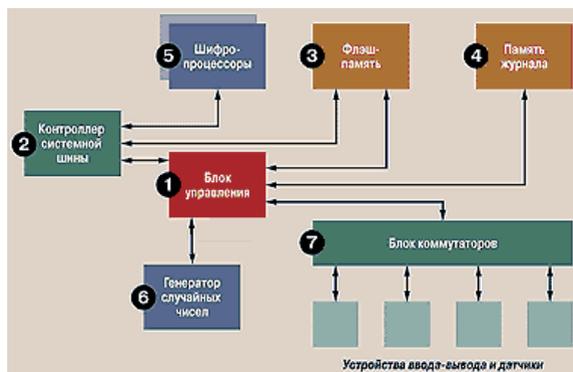


Рис. 1. Структура шифратора

Большинство блоков используются для дополнительных возможностей платы. Нам же понадобятся блок управления, для контроля модулей, и шифрпроцессор, для шифрования информации. Для выполнения функций этих блоков можно использовать один микроконтроллер, который возьмет на себя выполнение таких функций как считывание информации с порта, шифрование или дешифрование информации, и контроль над устройствами передачи или приема зашифрованной информации.

Главные преимущества микроконтроллера заключаются в быстродействии и достаточном количестве внутренних ресурсов, и внешних портов для подключения всех необходимых модулей. Для

реализации нашего устройства воспользуемся микроконтроллером AVR, потому что он обладает этими свойствами, а так же имеет большую систему команд.

Так как мы проектируем универсальное устройство способное зашифровать и передать информацию, то к универсальности можно отнести выбор устройств, с помощью которых будет передана информация. И большее количество портов нам в этом поможет. Существует большое количество готовых модулей способных передать информацию по таким каналам связи как GPRS, Bluetooth, радиоканал, Internet, Wi-Fi, XBee, и использование микроконтроллера значительно упрощает взаимодействие этих блоков с устройством.

Так же к универсальности, с аппаратной точки зрения, можно отнести возможность снимать информацию с различных устройств. То есть возможности применения различных портов для ввода или вывода информации.

В итоге мы получаем устройство, разбитое на модули, помогающие добиться максимальной универсальности. Структурно устройство выглядит следующим образом.

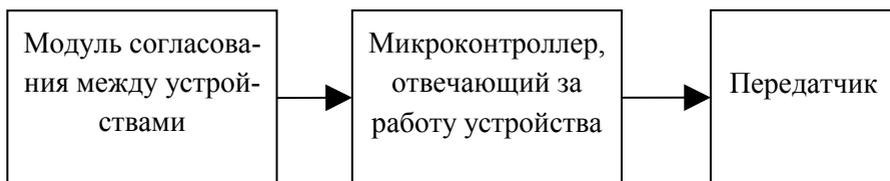


Рис. 2. Структурная схема устройства

Для начала выберем микроконтроллер, так как он является основой всего устройства. Для этого выберем микроконтроллер семейства AVR ATmega328.

Ограничимся рассмотрением устройства передачи информации по радиоканалу. Для этого воспользуемся готовыми RF-модулями на 433 МГц. Приведем пример подключения модуля к микроконтроллеру.

ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

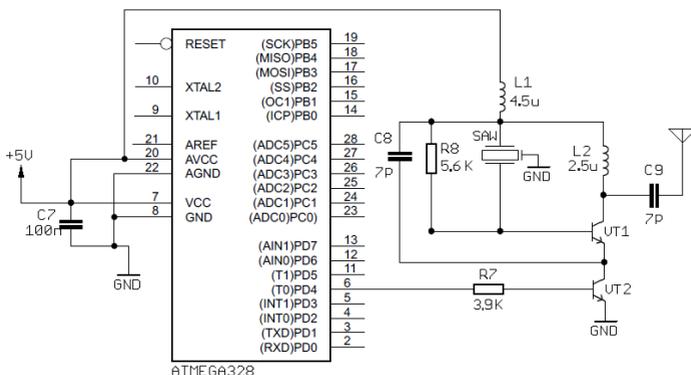


Рис. 3. Схема подключения RF-модуля к микроконтроллеру

Выбранный микроконтроллер использует для согласования с устройствами такие интерфейсы как UART, I2C и SPI. Например, с помощью интерфейса UART можно согласовать компьютер и микроконтроллер по последовательному COM-порту, однако он уже устарел и редко встречается в компьютерах, тем более в ноутбуках. Для этого созданы конверторы, например UART-USB. Приведем пример подключения конвертора к микроконтроллеру.

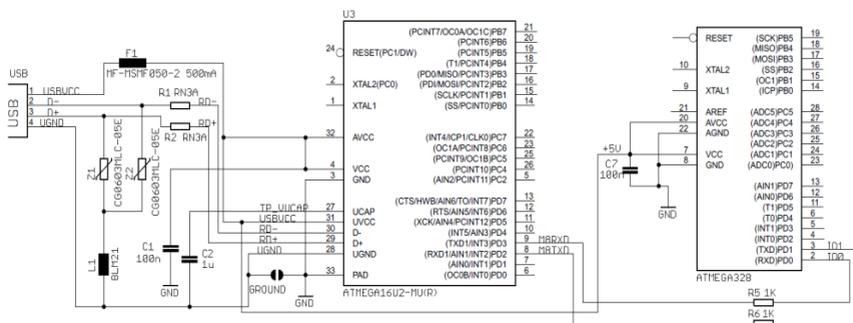


Рис. 4. Схема подключения конвертора к микроконтроллеру

Меняя конверторы, можно подключать устройства к разным источникам информации

В итоге мы получаем универсальное устройство шифрования и перелачи информации. в котором возможно менять: порты пол-

ключения к устройству, методы шифрования и устройства передачи информации.

Список литературы

1. Адаменко М.В. Основы классической криптологии: секреты шифров и кодов // М.: ДМК-Пресс., 2012. – 256 с.
2. Венбо Мао. Современная криптография. Теория и практика // М.: Вильямс, 2005. – 768 с.
3. Дориченко С.А. 25 этюдов о шифрах: Популярно о современной криптографии // М: ТЕИС, 1994. – 69 с.
4. Панасенко С.П. Аппаратные шифраторы //Режим доступа: <https://www.osp.ru/pcworld/2002/08/163808>.

DATA TRANSMISSION CHANNEL WITH CRYPTOGRAPHIC PROTECTION

Denisov A.

Supervisor: D. Danilaev, Cand. Sci. (Technical), Assoc. prof.
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

The report considers the approach to constructing a device for encrypting and transmitting information over a communication channel. The structure of the device is proposed, which makes it possible to achieve the universality of the device. Modules matching schemes are given.

УДК 51-74

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛА ПРИ ВСЕВОЗМОЖНЫХ ФЛУКТУАЦИЯХ ПОМЕХ

Диб Осам

Научный руководитель: Ш.М. Чабдаров
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данном докладе мы представили математического синтеза и анализа идеального приемника при наличии негауссовских помех представлены как полигауссовской. Было показано, что приемник имеет структуру многоканального типового радиотехнического звена, и что алгоритм инвариантен к исходным вероятностям наличия сигналов и помех и их флуктуации. Разработан расчет вероятности ошибки.

Для определения помехоустойчивости обнаружения при задании конкретных флуктуации помех из множества всевозможных флуктуации прежде всего необходим синтез оптимального алгоритма.

Пусть заданы следующие исходные данные:

- Информационный сигнал является детерминированным, и единственным неизвестным-это факт его прихода, который определяется вероятностью $P^{(c)}$.

- Тепловой шум в приемнике который существует все время, и она имеет Гауссовское распределение $\Gamma\{\bar{u}, 0, \sigma_{ш} \|I\|\}$.

- Аддитивная непрерывная негауссовская помеха существует постоянно и имеет распределение $W\{\bar{n}\}$.

- Принятое правило принять решение в этой работе является “критерий Байеса” (минимальный риск).

1. Вероятностное описание наблюдаемого в приемнике случайного процесса

Подчеркнем, что при всякой задаче радиоприема наблюдаемое колебание \bar{y} является вероятностной смесью.

При задании помехи с всевозможными $W\{\vec{n}\}$ они представляются полигауссовой смесью:

$$W\{\vec{n}\} = \sum_{n=1}^{N_{II}} q_n^{(II)} \Gamma\{\vec{n}; \vec{m}_n; \sigma_{II} \|I\|\}; \quad \sum_{n=1}^{N_{II}} q_n^{(II)} = 1$$

При условии отсутствия сигнала из-за случайности фактов наложения на интервал наблюдения сигнала и одной из N_{II} компоненты помех возможны $2N_{II}$ несовместимых события, которым соответствуют вероятности наступления $P_{\dots}^{(СПШ)}$, их носители $U_{\dots}^{(СПШ)}$ и плотности вероятности $W_{\dots}^{(СПШ)}$.

Обозначив частные гипотезы об этих событиях $H_{\dots}^{(СПШ)}$, получим:

$$\begin{aligned} H_{0n1}^{(СПШ)} : \vec{U}_{0n1}^{(СПШ)} &= \{\vec{u}_{In} + \vec{u}\}; & P_{0n1}^{(СПШ)} &= (1 - p^{(c)}) q_n^{(II)}; \\ W_{0n1}^{(СПШ)}(\vec{u}) &= \Gamma\{\vec{u}_{In}; \vec{m}_n; \sigma_{II}\} * \Gamma\{\vec{u}; 0; \sigma_{III}\} = & (1) \\ &= \Gamma\{\vec{u}_{0n1}, \vec{m}_n, \sqrt{\sigma_{II}^2 + \sigma_{III}^2}\}; & n &= \overline{1, N_{II}}. \end{aligned}$$

В этих выражениях знак «*» означает свертку К-мерных ПРВ, а в выражении гауссовской плотности для сокращения записи опущена единичная матрица $\|I\|$, которая как здесь, так и в последующих выражениях применительно к случайным процессам всегда предполагается.

На основе формулы полной вероятности $W^{(II)}$ будет:

$$H^{(II)} : W^{(II)}(\vec{u}) = \sum_{n=1}^{N_{II}} P_{0n1}^{(СПШ)} W_{0n1}^{(СПШ)}(\vec{u}) = (1 - p^{(c)}) \left[\sum_{n=1}^{N_{II}} q_n^{(II)} W_{0n1}^{(СПШ)}(\vec{u}) \right]. \quad (2)$$

Аналогично можно получить частные и полные условные характеристики наблюдаемого процесса при условии наличия сигнала.

$$\begin{aligned} H_{1n1}^{(СПШ)} : \vec{U}_{1n1}^{(СПШ)} &= \{\vec{s} + \vec{u}_{In} + \vec{u}\}; & P_{1n1}^{(СПШ)} &= p^{(c)} q_n^{(II)}; \\ W_{1n1}^{(СПШ)}(\vec{u}) &= \Gamma\{\vec{u}_{1n1}, \vec{s} + \vec{m}_n, \sqrt{\sigma_{II}^2 + \sigma_{III}^2}\}; & n &= \overline{1, N_{II}}. \end{aligned} \quad (3)$$

$$H^{(C)} : W^{(C)}(\vec{u}) = \sum_{n=1}^{N_{II}} P_{1n1}^{(СПШ)} W_{1n1}^{(СПШ)}(\vec{u}) = p^{(c)} \left[\sum_{n=1}^{N_{II}} q_n^{(II)} W_{1n1}^{(СПШ)}(\vec{u}) \right]. \quad (4)$$

2. Синтез оптимального алгоритма

В соответствии с критерием Байеса правило решения будет

[1]:

$$(C_{01} - C_{11})p^{(c)} \left[\sum_{n=1}^{N_H} q_n^{(H)} W_{1n}^{(CПШ)}(\bar{u}) \right] \underset{H^{(H)}}{>} \underset{H^{(C)}}{<} (C_{10} - C_{00})(1 - p^{(c)}) \left[\sum_{n=1}^{N_H} q_n^{(H)} W_{0n}^{(CПШ)}(\bar{u}) \right]. \quad (5)$$

Для сокращения объема текста будем рассматривать $C_{10} = C_{01} = 1, C_{11} = C_{00} = 0$

Исходя из условия конечности интервала $t \in [0, T]$ при предельном переходе $K \rightarrow \infty$ получим на основании (5) оптимальный алгоритм обнаружения сигнала в непрерывном времени со схемой показанной на рисунке 1:

$$p^{(c)} \left[\sum_{n=1}^{N_H} q_n^{(H)} \ell_n^{(C)}[u(t)] \right] \underset{H^{(H)}}{>} \underset{H^{(C)}}{<} (1 - p^{(c)}) \left[\sum_{n=1}^{N_H} q_n^{(H)} \ell_n^{(H)}[u(t)] \right], \quad (6)$$

где

$$\ell_n^{(C)}[u(t)] = \exp \left\{ \frac{1}{2\sigma_0^2} (2Z_s + 2Z_{In} - \mathcal{E}_s - \mathcal{E}_{In} - 2\mathcal{E}_{sIn}) \right\}, \quad (7)$$

$$\ell_n^{(H)}[u(t)] = \exp \left\{ \frac{1}{2\sigma_0^2} (2Z_{In} - \mathcal{E}_{In}) \right\}, \quad Z_s = \int_0^T u(t)s(t)dt,$$

$$Z_{In} = \int_0^T u(t)m_{In}^{(H)}(t)dt, \quad \mathcal{E}_s = \int_0^T [s(t)]^2 dt, \quad \mathcal{E}_{In} = \int_0^T [m_{In}^{(H)}(t)]^2 dt, \quad \mathcal{E}_{sIn} = \int_0^T s(t)m_{In}^{(H)}(t)dt.$$

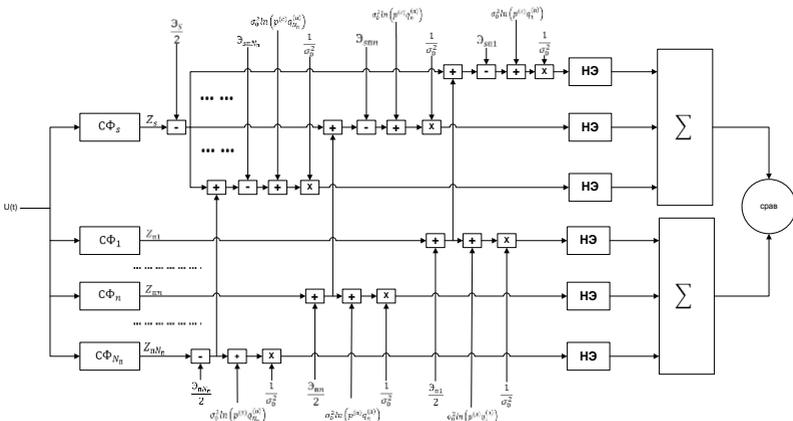


Рис. 1. Структурная схема идеального приемника

Из выражений (5) следует, что идеальный алгоритм при произвольно заданных всевозможных флуктуациях имеет структуру типового радиотехнического звена [2] но многоканального т.е. последовательного соединения многоканального линейного фильтра, многоканального нелинейного элемента и вновь линейного устройства с последующим блоком решения:

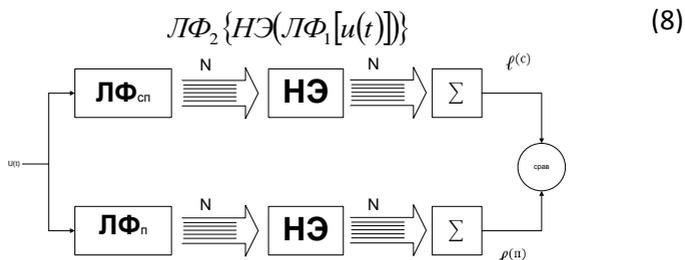


Рис. 2. Обобщенная универсальная схема алгоритма обнаружения сигнала

Оптимальный алгоритм инвариантен к исходным вероятностям наличия сигналов и помех, а также к их плотностям вероятностей; их радиофизические и вероятностные свойства определяют лишь число каналов и параметры до- и последетекторного линейных фильтров [4].

Из выражений (7) следует, что достаточной статистикой в негауссовских задачах проверки гипотез является вектор канальных корреляционных интегралов $[Z_{sn}, Z_{ln}]^T$, (при указанных исходных данных размерность $2N_{II}$.) Это, в частности, означает, что аппаратно- и времяемкое многоканальное преобразование наблюдаемого в приемнике случайного процесса происходит лишь в первом линейном фильтре, а все последующие операции производятся лишь над случайными величинами.

3. Анализ помехоустойчивости оптимального алгоритма

Определение плотности вероятности случайных величин на выходе тракта оптимальной обработки для вычисления помехоустойчивости при полигауссовых моделях негауссовых сигналов и помех сводится к решению изученных в корреляционной теории но взаимосвязанных канальных задач анализа линейных и нелиней-

ных преобразований гауссовых или так называемых «порожденных гауссовыми» случайных процессов и величин [3].

Вероятностному анализу подлежат операции, в укрупненном виде представленные в (8): вычисление условных многомерных плотностей вероятности на выходах $L\Phi_1[u(t)]$, затем на выходах $HЭ$, затем на выходе линейного блока $L\Phi_2\{\}$, и в завершение – вычисление вероятности правильных или ошибочных решений.

Все указанные аналитические вычисления и их результаты связаны с широко распространенными в статистической радиотехнике преобразованиями суперпозиции гауссовских процессов и величин, однако анализ независимых экспоненциальных линейных элементов

$${}_{(j)}y_{(i)} = \exp {}_{(j)}x_{(i)} \quad (9)$$

приводит к необходимости использовать полилоггауссовский формы

$$w(y) = ПЛГ(y) = \sum_{j=1}^{N_H} {}_{(j)}qL \Gamma \{y; {}_{(j)}M; \|\sigma\|\} \quad (10)$$

и их комбинаций

$$\Delta = \sum_{i=1}^{N_H} y_i - \sum_{j=1}^{N_H} y_j, \quad (11)$$

распределения вероятностных которых выражается в модифицированных логгауссовых выражениях ${}_{(j)}ML \Gamma(y_1, \dots, y_{N_H})$, традиционное для задач обнаружения интегрирование которых и выражает искомые вероятности правильных и (или) ошибочных решений [3].

Список литературы

1. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Том I. Теория обнаружения, оценок и линейной модуляции. Нью-Йорк. 1968. Пер. с англ., под ред. проф. В. И. Тихонова. М.: «Советское радио», 1972.
2. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники, кн. 1 // М., «Советское радио», 1966.
3. Чабдаров Ш.М. Идеальный приемник и потенциальная помехоустойчивость при произвольных флуктуациях негауссовских сигналов и помех // Наукоемкие технологии, 2004. Т. 5, № 4,

с. 38–46.

4. *Deeb O., Korobkov A.A.* "About the influence of character of signal fluctuations on modeling of its detection processes", Scientific Director: Chabdarov Sh.M. // «ПРИКЛАДНАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА, ФОТОНИКА И ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ – 2017» (ПРЭФЖС-2017).

THE NOISE IMMUNITY FOR OPTIMAL SIGNAL DETECTION UNDER ALL POSSIBLE INTERFERENCE FLUCTUATIONS

Deeb Osama

Scientific Director: Sh. Chabdarov

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

In this report, we presented a mathematical synthesis and analysis for ideal receiver in the presence of nongaussian interference represented as polygaussian. It was shown that the receiver has the structure of a typical multi-channel radio link, and that the algorithm is invariant to the presence of initial probability of signals and noise and their fluctuations. Calculation of probability of error was developed.

УДК 519.6

ФОРМИРОВАТЕЛИ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА

Егоров А.А.

Научный руководитель: В.В. Афанасьев,
докт. техн. наук профессор

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Выполнено моделирование формирователя сигналов на основе радиоэлектронной дискретно-нелинейной системы Лоренца. Определены статистические характеристики этих сигналов.

Конфиденциальность является одним из важнейших параметров систем передачи информации. Среди способов его повышения можно выделить применение систем с хаотической динамикой. Однако подобные системы на практике трудно реализуемы из-за их высокой чувствительности к начальным условиям. Поэтому становится достаточно актуальным моделирование формирователей сигналов на основе систем с динамическим хаосом.

Цель работы: моделирование формирователя сигналов на основе радиоэлектронной дискретно-нелинейной системы Лоренца с определением его статистических характеристик.

Моделирование выполнялось в программной среде Mathcad. Система Лоренца – это система из трех нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка. Для построения типичного для системы Лоренца странного аттрактора были приняты следующие параметры: $\sigma=10$, $r=27$, $b=8/3$. Начальные значения равны $X_0=7$, $Y_0=7$, $Z_0=20$. Решения данной системы можно добиться с применением метода Эйлера, либо Рунге-Кутта более высоких порядков. Использован метод Эйлера, он уступает в точности методу Рунге-Кутта, однако имеет меньшее количество вычислений, что позволяет снизить требование к ЭВМ [2].

Большое влияние на результаты моделирования оказывает

шаг дискретизации по времени Δt : при его изменении фазовый портрет постоянно меняется. В данной работе $\Delta t=0,0006$ при $N=50000$ точек. Чрезмерное увеличение шага дискретизации приводит к увеличению шумов квантования. Подробнее о рекомендациях выбора Δt и его влияния на статистические характеристики говорится в источниках [1, 2].

Чтобы убедиться в правильности работы модели, проводилась вариация параметра r . Тем самым менялся режим работы системы. Некоторые получившиеся фазовые портреты изображены на рисунке 1: случай а для $r=0,5$ (имеется одна устойчивая неподвижная точка в начале координат $(0;0;0)$); случай б для $r=20$ (имеется один устойчивый фокус); случай в для $r=27$ (возникает притягивающее множество сложной структуры – странный аттрактор Лоренца); случай г для $r=200$ (режим автоколебаний в системе). Подробнее о режимах работы говорится в источниках [3].

С помощью встроенных функций программы Mathcad выполнялось вычисление статистических характеристик (математическое ожидание M , среднеквадратическое отклонение δ), приведенных в таблице 1. Подсчет проводился при различных значениях r , что позволяло судить о характере изменения данных характеристик.

Таблица 1

Статистические характеристики сигналов X, Y, Z системы Лоренца

r	$M(X)$	$M(Y)$	$M(Z)$	$\delta(X)$	$\delta(Y)$	$\delta(Z)$
0,5	0,012	-0,011	0,266	0,355	0,311	1,647
5	-3,135	-3,169	4,068	0,743	0,562	1,246
10	-4,719	-4,758	8,93	1,106	0,954	1,226
15	6,06	6,057	13,956	0,56	0,683	0,934
20	7,114	7,114	18,997	0,133	0,174	0,225
25	1,654	1,621	21,68	7,412	8,079	6,823
27	2,434	2,452	22,956	7,428	8,336	7,944
200	-1,094	-1,159	190,149	22,67	43,328	39,951

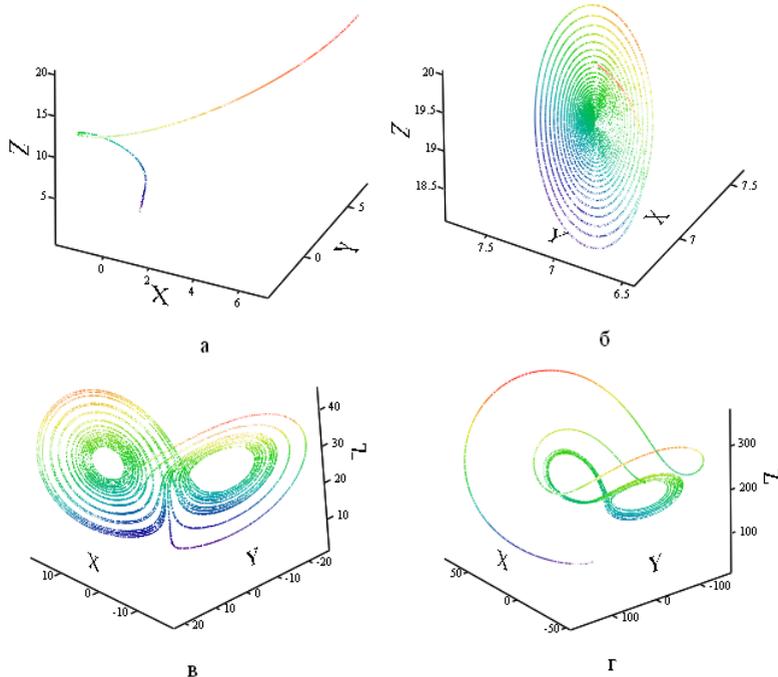


Рис. 1. Фазовые портреты промоделированной системы Лоренца

Таким образом, фазовые портреты, полученные при моделировании системы Лоренца, соответствуют теории, изложенной в учебной литературе, следовательно, данную модель можно применять в других исследованиях, среди которых можно выделить, например, корреляционную обработку хаотических сигналов.

Результаты вычислений статистических характеристик сигналов, порождаемых системой Лоренца, показывают, что изменение режима работы системы путем варьирования параметра r приводит и к изменению этих характеристик.

Список литературы

1. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е. Анализ и синтез нелинейных радиоэлектронных динамических устройств и

систем с варьируемым шагом временной сетки – Казань: Изд-во КГТУ, 2013. – 220 с.

2. *Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е.* Нелинейные системы с динамическим хаосом и порождаемые ими сигналы. Учебное пособие по курсу «Теория электрической связи» – Казань: Изд-во КГТУ, 2005. – 123 с.

3. *Кузнецов С.П.* Динамический хаос (курс лекций): Учеб. пособие для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2006. – 356 с.

GENERATORS OF SIGNALS BASED ON THE LORENZ RADIO ELECTRONIC DISCRETE-NONLINEAR SYSTEM

Egorov A.

Supervisor: V. Afanasiev, Doctor of Technical Sciences, professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

The simulation of generator of signals based on the Lorenz radio electronic discrete-nonlinear system were made. The statistical characteristics of this signals were Counted.

УДК 621.396

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННО-АДРЕСНЫХ
СИСТЕМ СВЯЗИ С ШИРОКОПОЛОСНЫМИ
СИГНАЛАМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОМЕХ
СО СТРУКТУРОЙ СИГНАЛОВ**

Зуев М.Ю., Яруллин Р.Р.

Научный руководитель: С.С. Логинов, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева - КАИ, г. Казань)

В настоящей работе сравнивается помехоустойчивость систем связи с широкополосными сигналами, работающих в совмещенном варианте нисходящего и восходящего каналов и их разнесенном варианте.

Системы связи с широкополосными сигналами (ШПС) обладают высокой помехоустойчивостью, скрытностью, менее чувствительны к эффектам многолучевого распространения радиоволн. Такие системы привлекательны для организации каналов связи с переменным числом абонентов. Актуальность данной работы обусловлена отсутствием в общем виде зависимости вероятности связи от количества сигналов от соседних абонентов, являющихся мешающими для рассматриваемой линии взаимодействия между двумя абонентами.

С целью упрощения схемотехнического построения и ввиду ограничений на доступный частотный ресурс актуальным является сопоставление помехоустойчивости по отношению к взаимным помехам систем с разделением частотных каналов для нисходящих и восходящих сигналов и их передачи по одному частотному каналу. Поэтому в работе исследуется зависимость вероятности связи от плотности потока сигналов соседних абонентов, которые являются мешающими для двух вариантов построения системы: совмещенных по частоте нисходящего и восходящего каналов и разнесенных по частоте каналов.

В работе проведен анализ вероятности связи от отношения

сигнал/шум при воздействии помех со структурой сигналов представляющих собой пуассоновский поток с амплитудным распределением по закону Релея. Полученные зависимости были сопоставлены с теоретико-аналитической оценкой при тех же плотностях потока с фиксированным амплитудным распределением.

При оценке вероятности связи использованы сигналы, состоящие из пачек широкополосных импульсов с прямым расширением спектра и базами $B=128$ в нисходящем канале и $B=512$ в восходящем канале.

На рисунке 1 представлена оцененная аналитически зависимость вероятности связи от отношения сигнал/шум при плотности потока от соседних средств связи 2000 сигналов/сек для нисходящего потока и 500 сигналов/сек для восходящего потока.

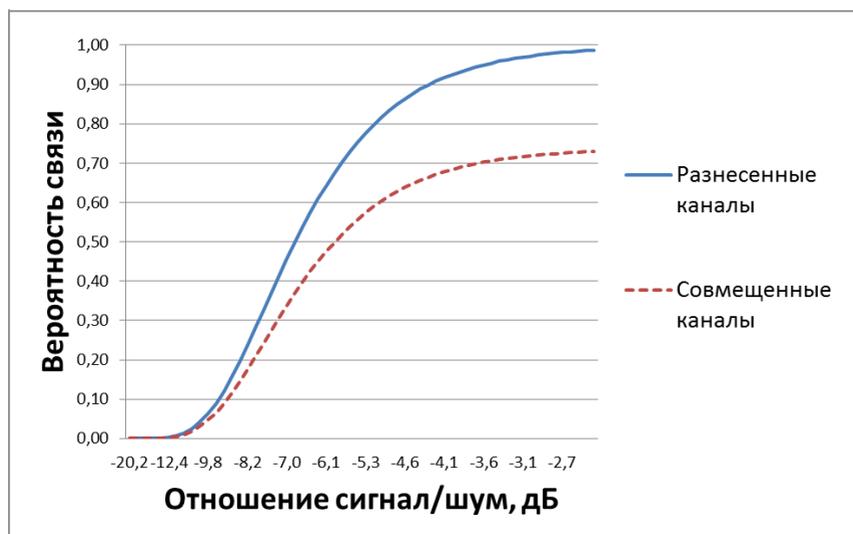


Рис. 1. Теоретически оцененная зависимость вероятности связи от отношения сигнал/шум при воздействии помех со структурой сигналов: сплошная – для разнесенных по частоте каналов, пунктирная – для совмещенных каналов.

Из рисунка 1 видно, что вероятность связи уменьшается при снижении отношения сигнал/шум. При этом в двухчастотном вари-

анте при $S/N = -5$ дБ, $P_{св} = 0.79$, а в одночастотном $P_{св} = 0.57$ при плотности потока нисходящих сигналов 2000 сигналов в секунду и восходящих сигналов – 500 сигналов в секунду.

На рисунке 2 представлена статистическая оценка зависимости вероятности связи от отношения сигнал/шум при воздействии мешающего потока сигналов.

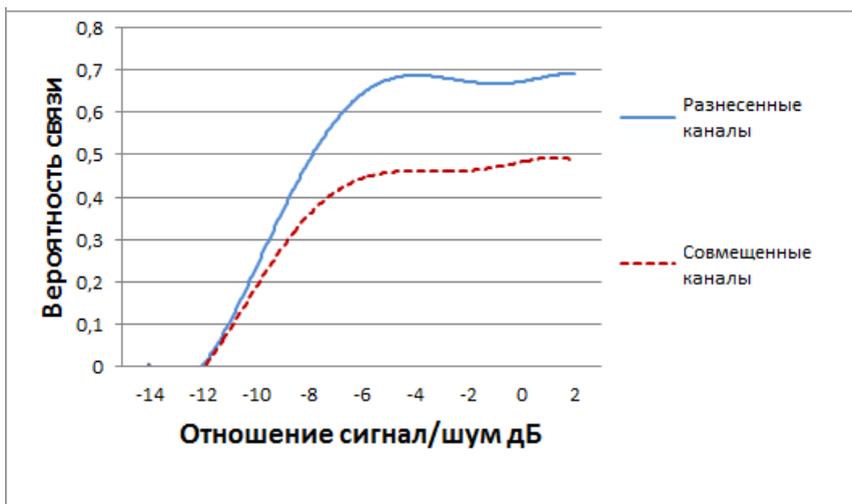


Рис. 2. Экспериментально оцененная зависимость вероятности связи от отношения сигнал/шум при воздействии помех со структурой сигналов: сплошная – для разнесенных по частоте каналов, пунктирная – для совмещенных каналов.

Из сопоставления полученных зависимостей видно, что аналитические оценки вероятности связи достаточно близки к оценкам, полученным статистическим моделированием для отношения сигнал/шум менее -6 дБ, в дальнейшем при увеличении отношения сигнал/шум расхождение в оценках увеличивается. Причем аналитические оценки дают завышенное значение вероятности связи из-за лучшей вероятности обнаружения сигналов на фоне помех со структурой сигналов. Кроме того, аналитические оценки выполнены с допущением, что накладывающиеся сигналы имеют одинаковую мощность.

На рисунке 3 приведена зависимость вероятности связи от плотности потока.

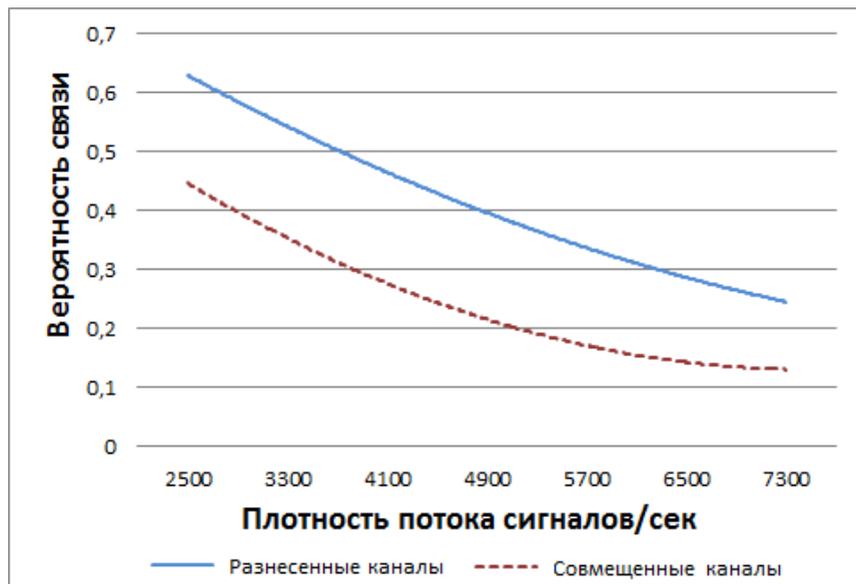


Рис. 3. Зависимость вероятности связи от плотности потока для отношения сигнал/шум -6дБ

Из рисунка 3 видно, что при увеличении плотности потока сигналов в нисходящем и восходящем каналах различие вероятности связи в двух вариантах построения сохраняется на уровне 0,2 при отношении сигнал/шум -6дБ. Необходимо отметить, что данные зависимости получены методом статистического моделирования.

Оценки вероятности связи, полученные аналитически и методом статистического моделирования, для совмещенных и разнонесенных по частоте нисходящего и восходящего каналов при малых отношениях сигнал/шум различаются незначительно. При увеличении отношения сигнал/шум разнесение нисходящих и восходящих потоков по отдельным каналам обеспечивает лучший результат по вероятности связи по сравнению с совмещенным вариантом построения системы. При этом расхождение между аналитически-

ми и статистическими оценками увеличивается из-за ограниченно-го числа факторов, учитываемых в аналитической модели.

Список литературы

1. Дж. Прокис Цифровая связь. Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского – М.: Радио и связь. 2000. – 800с.: ил.

2. В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев, Н.П. Мухин, Г.С. Нахмансон. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. Под редакцией В.И. Борисова – М.: Радио и связь, 2003. – 640 с.

ANALYTICAL AND STATISTICAL ESTIMATIONS OF NOISE IMMUNITY OF MULTY-USER ASYNCHRONOUS ADDRESS COMMUNICATIONS SYSTEMS

Zuev M., Yarullin R.

Supervisor: S. Loginov, doctor, professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This paper compares the noise immunity of communication systems with broadband signals operating in a combined version of the downlink and uplink-channels and their diversity version.

УДК 621.372.812

РАЗРАБОТКА МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА С МИКРОПОЛОСКОВЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ВОЛНЫ H20

Кадыров Р.А.

Научный руководитель: А.Р. Насыбуллин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В данной работе рассмотрены два метода возбуждения волны H20 типа, компьютерное моделирование полученных волноводов в ПО CST STUDIO SUITE и сравнительный анализ полученных характеристик.

Целью данной работы является выбор прямоугольного волновода, удовлетворяющего условиям распространения волны H20 типа. Для этого в работе решается ряд задач: моделирование прямоугольного волновода, сравнительный анализ характеристик, и выбор лучшей модели по полученным данным.

Размер прямоугольного волновода выбирается исходя из данных о длине волны сигнала и типа волны, которую необходимо возбудить. На рисунке 1 наглядно показана зависимость типа возбуждаемой волны от размера широкой стенки волновода. Размер боковой стенки принимаем равным половине ширины широкой стенки. Длина волновода соизмерима с длиной волны, распространяемой в нем. Конечные размеры приняли равными 70x30x150 при частоте сигнала в 4.74 ГГц для упрощения процесса реализации физической модели. Условия возбуждения волны H20 типа соблюдены, так как длина волны при частоте 4.74 ГГц равна 63мм и входит в диапазон от $\frac{2a}{\sqrt{5}}$ до a

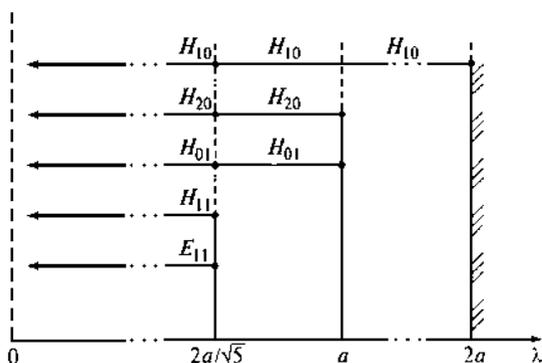


Рис. 1. Критические длины волн

Возбуждение электромагнитной энергии в прямоугольном волноводе может быть выполнено двумя способами: с помощью щелей и с помощью электрического вибратора (штыря).

Рассмотрим метод возбуждения волны H_{20} типа в прямоугольном волноводе с помощью штырей. Для возбуждения используются два электрических вибратора, введенные в места, где должны находиться пучности электрического поля волны H_{20} . Длины отрезков подводящей линии от точки разветвления до точек соединения с вибраторами выбирают отличающимися на $\lambda_0/2$. В этом случае, при распространении волны по коаксиальной линии, токи в вибраторах будут иметь одинаковые амплитуды, а их фазы будут отличаться на π . В волноводе будут эффективно возбуждаться также волны H_{20}, H_{40}, \dots и затруднено возбуждение волн с нечетным первым индексом H_{10}, H_{30}, \dots . Выбором размеров волновода создают предельный режим для всех волн, кроме H_{20} и H_{10} .

Рассмотрим метод возбуждения волны H_{20} типа с помощью щели. В качестве подводящей линии связи в данном методе используется микрополосковая линия связи. Длины отрезков подводящей линии так же, как и в методе возбуждения с помощью штырей, выбирают отличающимися на величину $\lambda_0/2$. Сами щели располагаются на расстоянии не превышающем $\lambda_{в}/8$ от короткозамкнутой стенки.

В данном волноводе для обоих методов в качестве внешней подводящей линии используются несимметричные полосковые ли-

нии.

Обе модели были собраны в ПО CST STUDIO SUITE для анализа и сравнения характеристик. Общий вид смоделированных волноводов представлен ниже (рис. 2).

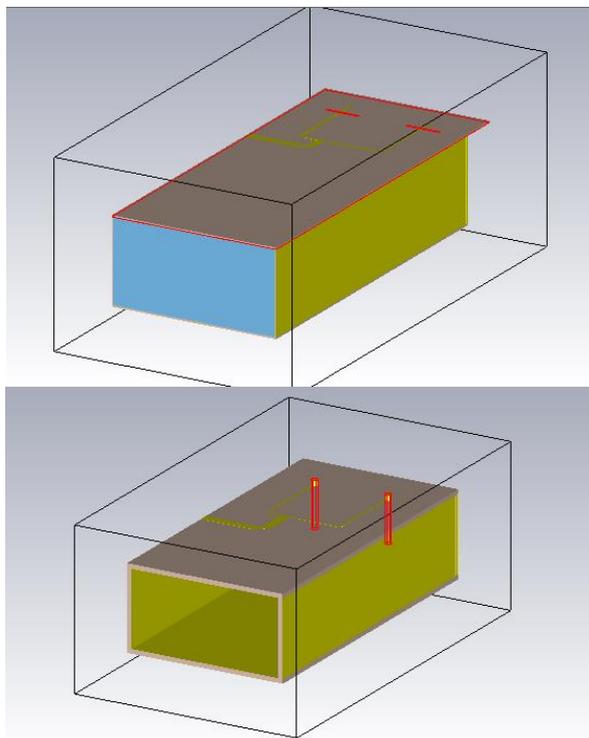


Рис. 2. Общий вид моделей волновода в ПО CST STUDIO SUITE

На рисунке ниже наглядно изображено электромагнитное поле, распространяющееся в модели волновода.

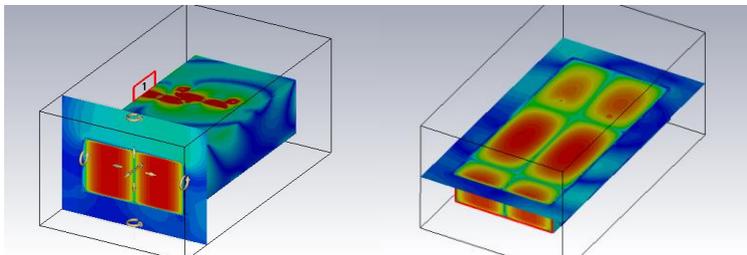


Рис. 3. Распространение электромагнитного поля в волноводе с возбуждением волны Н20 типа с помощью штырей

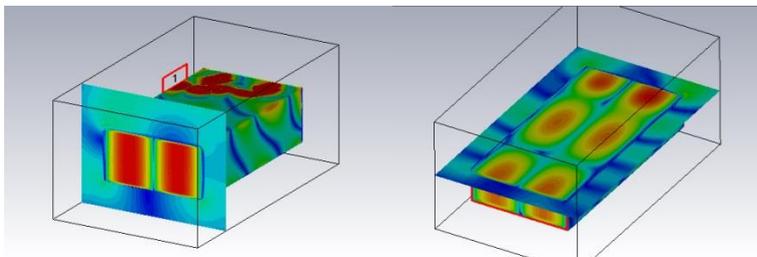


Рис. 4. Распространение электромагнитного поля в волноводе с возбуждением волны Н20 типа с помощью щелей

Наблюдаемое поле по характеру распространения соответствует полю Н20 волны, но помимо него в поле присутствуют моды волн высших типов и волны Н10 типа. Металлическая пластина, помещенная посередине волновода параллельно его узким стенкам, может предотвратить распространение нежелательной в данном случае волны Н10. На расстоянии $l = \lambda_v / 4$ (λ_v – длина волны Н20 в волноводе) помещают металлическую пластину, обеспечивающую режим короткого замыкания на конце волновода.

Для дальнейшего анализа волновода будут рассмотрены коэффициенты отражения и коэффициенты передачи смоделированных волноводов. На рисунке ниже представлены графики коэффициента отражения для возбуждения волны Н20 типа с помощью щелей и с помощью штырей.

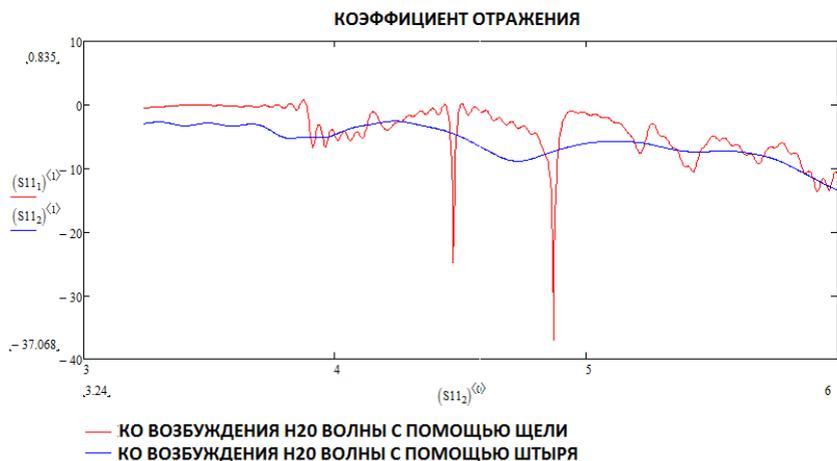


Рис. 5. Коэффициенты отражения волноводов, смоделированных в ПО CST STUDIO SUITE

Из сравнения графиков можно сделать вывод, что при использовании штырей коэффициент отражения имеет меньше резонансов и меньшую величину коэффициента отражения.

На рисунке ниже представлены графики коэффициента передачи для возбуждения волны Н20 типа с помощью щелей и с помощью штырей.

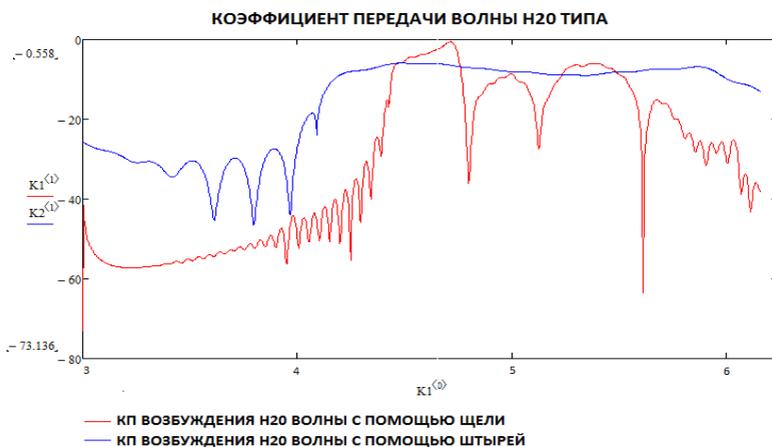


Рис. 6. Коэффициенты передачи волноводов,
смоделированных в ПО CST STUDIO SUITE

Из сравнения графиков можно сделать выводы:

- при использовании штырей коэффициент отражения имеет меньше резонансов и меньшую величину коэффициента отражения.
- передача проводится примерно на одном уровне, но в случае со штырями она ровнее, не имеет резонансов и имеет более широкую полосу частот.

На основании этого можно утверждать, что на данном этапе возбуждение с помощью щелей дает лучший результат, нежели возбуждение с помощью щелей.

Список литературы

1. Шаров Г.А. Волноводные устройства сантиметровых и миллиметровых волн, – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 640 с.: ил.
2. Справочник по волноводам / перевод с англ. под ред. Я.Н. Фельда. – М.: Сов. радио, 1952. (Marcuvitz N/ Waveguide Handbook. Peter Peregrinus Ltd, 1986)
3. Smedth R., Van Bladel J. Magnetic polarizability of some small apertures // IEEE Trans. 1980. V. AP-28, № 5. P. 703.
4. Microwave Engineers' Handbook. V. 2. – Dedham, Massachusetts: Atech House, 1971.

DEVELOPMENT OF METAL-DIELECTRIC RECTANGULAR WAVEGUIDE WITH THE PEACEFUL EXCITATION OF H₂₀ WAVE TYPE

Kadyrov R.

Supervisor: A. Nasibullin, PhD, Associate professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

In this paper we consider two methods of exciting the H₂₀ type wave,

computer simulation of the obtained waveguides in the CST STUDIO SUITE software and a comparative analysis of the obtained characteristics.

УДК 528.629

РАЗРАБОТКА ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА НАЗЕМНОГО ГРАЖДАНСКОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС

Кузьменко П.А., Шилов Н.С.

Научный руководитель: М.П. Данилаев,
докт. техн. наук, профессор; Дорогов Н.В., доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Основной раздел проекта посвящен вопросам, раскрывающим сущность ГЛОНАСС, её актуальность, принцип построения. Проведены расчеты для проектирования и создания наземного приемника. Разработана конструкторская часть.

Сетевая радионавигационная спутниковая система была разработана по заказу Министерства Обороны. В 1963 году началась работа по созданию первой низкоорбитальной навигационной спутниковой системы «Цикада».

ГЛОНАСС – система третьего поколения. В 1995 году была развернута орбитальная группировка полного состава и начата штатная эксплуатация. Система позволяет обеспечить непрерывную глобальную навигацию всех типов потребителей с различным уровнем требований к качеству навигационного обеспечения.

Помимо основной функции – навигационных определений, – система позволяет производить высокоточную взаимную синхронизацию стандартов частоты и времени на удаленных наземных объектах и взаимную геодезическую привязку. Помимо этого, с её помощью можно производить определение ориентации объекта на основе измерений, производимых от четырех принимаемых сигналов навигационных спутников.

Состав группировки ГЛОНАСС включает 28 КА. 24 используются по целевому назначению. 1÷2 аппарата на орбитальном резерве и ещё 2 на этапе летных испытаний [1].

Система в целом включает в себя три сегмента (функциональные части):

– космический сегмент, в который входит орбитальная группировка искусственных спутников Земли (т.е. навигационные космические аппараты);

– сегмент управления, наземный комплекс управления орбитальной группировкой космических аппаратов;

– пользовательский сегмент – аппаратура пользователей системы.

Данная работа посвящена разработке наземного гражданского приемного устройства. К сегменту потребителей системы ГЛОНАСС относятся приемники сигналов спутников. По измеренным параметрам этих сигналов решается навигационная задача. Приемник – предназначен для определения пространственных координат, вектора скорости, текущего времени и других навигационных параметров, полученных в результате приема и обработки радиосигналов от навигационных спутников.

В отличие от существующих приемников, устройство работает на частотных диапазонах L1 (1598 МГц ...1610 МГц) и L2 (1240...1260 МГц). Ранее L2 использовалось для военных нужд. С недавнего времени новые спутники ГЛОНАСС строятся на 3-х диапазонах, где под военные нужды занята L3(1164...1215 МГц). На вход приемника поступают радиосигналы от спутников, находящихся в зоне радиовидимости потребителя. Так как для решения навигационной задачи требуется минимум 4-ре спутника, то приемники строят в многоканальном исполнении.

Разработана структурная и принципиальная схемы радиоприемного устройства. Используется двухтактное понижение частоты сигналов несущей. Первое понижение частоты проводится, в общем, для всех принятых сигналов смесителем $СМ_0$. После общего усиления и фильтрации сигналов в усилителе промежуточной частоты ($УПЧ_0$) с полосой пропускания для совмещенного ПЧ, сигнал поступает в N каналов, в каждом из которых проводится второе преобразование частоты, ориентированное на прием сигналов. Полосу пропускания канального $УПЧ_i$ выбирают таким образом, чтобы выделялся сигнал одной из несущих и селективировались сигналы других.

Опорные сигналы, поступающие на смесители, формируются синтезатором частот из опорной частоты генератора. Управление

работой синтезатора частот осуществляется по сигналам, поступающим от навигационного вычислителя. Опорный генератор – это устройство, во многом определяющее качество работы приемоиндикатора в целом. От ОГ в значительной степени зависят такие параметры, как время получения первого отсчета, точность определения координат потребления, надежность приемоиндикатора, уровень потребления энергии, масса и габариты аппаратуры.

На выходе приемника аналоговые сигналы частоты в АЦП преобразуются в цифровую форму.

Проведен анализ работы радиоприемного устройства с использованием математического моделирования. Показано, что разработанный радиоприемник позволяет обеспечить требуемые параметры и характеристики.

Список литературы

1. Федеральное космическое агентство информационно-аналитический центр. <https://glonass-iac.ru/guide/>
2. Харисов В.Н., Перов А.И. «Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС», 1998 г.

THE DEVELOPMENT OF TERRISTRAL RECEIVER CIVILIAN USE ON THE BASIC OF THE GLONASS SATTELITE SYSTEM

Kuzmenko P., Shilov N.

Supervisor: M. Danilaev, doctor of technical sciences,
professor; N. Dorogov, docent
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev– KAI, Kazan)

The essences, relevance, principle of GLONASS construction are considered in the main part of that paper. The calculations for the design and construction of the ground receiver are considered.

УДК 621.396.99

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО СИГНАЛАМ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Михайлов А.С., Хисматуллина Д.Р.

Научный руководитель: С.В. Козлов, докт. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева, г. Казань)

В работе рассматривается возможность использования сигналов сети мобильной связи CDMA One для определения местоположения мобильного абонента с использованием дальномерного и разностно-дальномерного методов. Для каждого из методов вычисляются отклонения определённого местоположения от истинного положения абонента. По результатам расчетов выбирается наиболее рациональный метод определения местоположения.

Системы мобильной связи стали неотъемлемой частью нашей жизни. Для обеспечения больших скоростей передачи данных они используют различные широкополосные сигналы, совокупность которых, взаимодействуя между собой и другими объектами, создают информационное поле, возможности которого в настоящее время практически не используются. Одной из таких возможностей является определение местоположение мобильного абонента (МА) по сигналам сети сотовой связи, т.е. можно решать задачу радионавигации с использования сигналов, излучаемых базовыми станциями (БС) мобильных систем связи.

В радионавигации используются два основных метода: дальномерный и разностно-дальномерный [1]. Дальномерный метод основан на измерении расстояния R между БС, являющихся точками излучения, и МА, являющихся приемниками, сигнала. Разностно-дальномерный метод основан на измерении разности расстояний от МА до двух разных БС.

В сетях мобильной связи существует возможность измерения расстояния несколькими методами:

– амплитудным, когда МА измеряет амплитуду сигнала, далее расстояние до БС оценивается на основе известной мощности

передатчика и закона затухание сигнала;

– временным, когда МА измеряет задержку прихода сигнала, переданного БС;

– частотным, когда МА измеряет отклонение частоты частотно-модулированного сигнала, передаваемого БС;

– фазовым, когда МА измеряет фазу сигнала, переданного БС.

Выбор методов определения местоположения и расстояний зависит от используемых в системе связи сигналов. В настоящее время широкое распространение получили сети сотовой связи, использующие кодовое разделение каналов (CDMA). В них все абоненты используют широкополосные сигналы с большой базой, одновременно занимающие весь выделенный спектр частот. Для разделения сигналов абонентов используются рейк приёмники и согласованные фильтры, обеспечивающие выделение каждого луча сигнала и сильное сжатие сигнала во времени, что позволяет повысить точность определения времени прихода сигнала. Поэтому рассмотрим задачу определения местоположения абонентов для CDMA систем связи.

Первые CDMA системы использовали стандарт IS-95 (CDMA One) [2], в котором работа всех базовых станции сети синхронизировалась по GPS. Передаваемый БС сигнал включал 64 канала, среди которых выделялись пилот-сигнал (PI), передающий опорный немодулированный сигнал БС, синхроканал (SYNC), содержащий информацию о точном системном времени, 7 каналов персонального вызова и 55 каналов трафика. Наличие пилот-сигнала и синхроканала, наряду с синхронной работой БС позволяет в этом стандарте достаточно просто и точно определять время прихода сигналов различных БС на устройство МА. Следовательно, для сетей этого стандарта удобно использовать временной метод оценки расстояний с использованием информации, получаемой при приёме пилот-сигнала и синхросигнала.

При использовании дальномерного метода необходимо иметь информацию о расстояниях от МА до каждой БС, которые могут быть определены через время задержки при распространении сигналов. Это время может быть определено на основе измеренного времени прихода сигнала T_i , единого системного времени T_0 и

задержки передачи сигнала соответствующей БС T_i^{PN} . Для этого метода, кроме неизвестных координат местоположения МА (x, y) , неизвестным является и системное время T_0 .

Так как временные параметры измеряются с некоторой погрешностью, то для определения координат объекта воспользуемся критерием минимума среднеквадратического отклонения:

$$(x, y) = \arg \min_{(x, y, T_0)} \sum_{i=1}^N \left((x - x_i^{BC})^2 + (y - y_i^{BC})^2 - (T_i - T_i^{PN} - T_0)^2 \cdot c^2 \right), \quad (1)$$

где (x_i^{BC}, y_i^{BC}) – координаты i -й БС, а c – скорость света.

При использовании разностно-дальномерного метода необходимо иметь информацию о разности расстояниях от МА до каждой из пар БС, которые могут быть определены через разности времён задержек при распространении сигналов. Это время может быть определено на основе измеренного времени прихода сигнала T_i и задержки передачи сигнала соответствующей БС T_i^{PN} . Для этого метода неизвестными являются только координаты МА (x, y) , которые с использованием критерием минимума среднеквадратического отклонения, могут быть определены как:

$$(x, y) = \arg \min_{(x, y)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N \left(\sqrt{(x - x_i^{BC})^2 + (y - y_i^{BC})^2} - \sqrt{(x - x_j^{BC})^2 + (y - y_j^{BC})^2} - ((T_i - T_i^{PN}) - (T_j - T_j^{PN})) \cdot c \right)^2. \quad (2)$$

Для анализа отклонений получаемых оценок местоположения было произведено определение местоположения МА для двух точек с использованием обоих методов. Координаты точек брались из протоколов экспериментов, приведённых в [3]. Определение моментов прихода сигналов и задержки передачи сигнала соответствующей БС T_i^{PN} производились с использованием программного комплекса «CDMA Analyzer» [4]. Для определения местоположения по обоим методам были разработаны программы в среде

МАТЛАВ и использована геоинформационная система «Карта-2011» с картой города Казани. Расчеты выполняются в локальной прямоугольной системе координат. Результаты определения местоположения для двух точек, координаты первой из которых были определены по сигналам разных секторов БС, сведены в таблицу 1.

Таблица 1

№ точки	Реальные координаты (x, y) (м)	Дальномерный метод		Разностно-дальномерный метод	
		Координаты (x, y) (м)	Отклонение (м)	Координаты (x, y) (м)	Отклонение (м)
1.1	(602.66, -1028.92)	(559.28; -1120.19)	101.1	(571.24; -1118.96)	95.4
1.2	(602.66, -1028.92)	(571.24; -1118.96)	95.4	(560.86; -1115.79)	96.4
2	(735.51, -627.114)	(889.1, -557.22)	168.7	(889.1, -557.22)	168.7

На основе полученных данных можно сделать вывод, что местоположение мобильного абонента возможно определить с использованием сигналов сети стандарта IS-95 с отклонением примерно в 100 м. Сравнение отклонений результатов полученных с помощью дальномерного и разностно-дальномерного метода показывает, что второй метод дает меньшее отклонение от истинного местоположения мобильного абонента и имеет меньшую вычислительную сложность, что делает его более рациональным для практического применения.

Список литературы

1. Лазаренко С.В. Лекция РТС № 7. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.studfiles.ru/preview/6023385/page:5> (дата обращения: 06.06.2017).
2. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения. Серия изданий «Связь и бизнес», М. МЦНТИ – Международный центр научной и технической информации, ООО «Мобильные коммуникации», 2000 – 208 с.
3. Козлов С.В. Методы и алгоритмы оптимизации радиоин-

терфейса систем связи с кодовым разделением каналов на основе новых смесевых вероятностных моделей: Диссертация ... доктора технических наук. Казань, 2015. 245 с.: ил.

4. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2014662116. Программный комплекс «CDMA Analyzer» / С.В. Козлов – Заявка № 2014660423; зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 24.11.2014.

DETERMINING THE OBJECT LOCATION USING MOBILE NETWORK SIGNALS

Mikhailov A., Khismatullina D.

Scientific supervisor: S. Kozlov,

Doctor of technical sciences, associate professor

(Kazan National Research Technica

University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The article considers the possibility of using CDMA One mobile network signals to determine the mobile station location using rho-rho and time-difference methods. For each of the methods deviations of a particular location from the true position of the mobile station were calculated. Based on the calculation results the most rational method for determining location was chosen.

УДК 621.391.26

МОНИТОРИНГ СИГНАЛЬНЫХ СООБЩЕНИЙ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ПРИЕМНИКА RTL

Морозов А.С.

Научный руководитель: А.К. Гайсин

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

В данной статье исследуется возможность использования RTL-SDR в задачах мониторинга сигнального трафика сети GSM. Показаны и описаны результаты захвата сообщений управления нисходящей линии связи.

Мониторинг сети является ключевой задачей для операторов связи. Её решение позволяет анализировать параметры загрузки оборудования, качество предоставляемых услуг, предотвращать сбои и обеспечивать заданное качество обслуживания конечного пользователя. В конечном итоге, вся полученная информация используется для оптимизации и расширения сети.

Мобильные операторы не являются исключением и также решают данную задачу. Мониторинг делится на отслеживание качества восприятия мультимедийных потоков (QoE) и параметров качества обслуживания абонента (QoS). QoE показывает, как пользователь воспринимает удобство услуги во время ее использования, насколько он удовлетворен доступностью и целостностью предоставляемого сервиса. QoS, в свою очередь, определяет способность сети предоставлять данные услуги на гарантированном уровне обслуживания [1].

Одним из видов измерений качества обслуживания служат анализаторы протоколов. Они способны с высокой скоростью захватывать трафик на различных сетевых интерфейсах [1]. В нашем исследовании производилось сканирование радиоинтерфейса с помощью SDR приемника RTL-SDR.

RTL-SDR – это дешевое (около 500 рублей) USB устройство, которое принимает радиосигналы до 1,5 ГГц. Первоначально оно

использовалось в качестве DVB-T тюнера, но было обнаружено, что он может использоваться как SDR приемник, переводя его в другой режим работы. В этом режиме он способен принимать любой сигнал в рабочем диапазоне частот [2].

Целью работы служит исследование возможности применения RTL-SDR в совокупности с открытым программным обеспечением как средства мониторинга качества обслуживания сети GSM.

Методика исследования заключается в проведении эксперимента по захвату сообщений управления нисходящей линии связи (от базовой станции к мобильному терминалу) и их декодирование (преобразование кода к форме удобной для непосредственного использования [3]).

Для проведения эксперимента использовался компьютер на базе ОС Linux с установленным программным обеспечением: GNURadio и Wireshark для обработки и декодирования информации, получаемой с приемника RTL-SDR.

В первую очередь производилось сканирование полосы частот нисходящей линии связи для определения необходимого частотного канала (рис. 1). Определив такой канал, мы можем настроить оборудование на прием данных, транслируемых в этом канале.

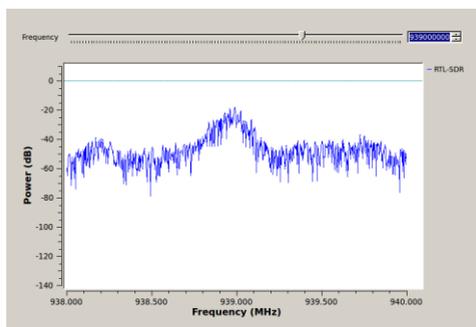


Рис. 1 Поиск частотного канала GSM 900

GNURadio с помощью набора библиотек декодирует принимаемые данные и отображает их в нижней части окна (рис. 2). Информация, которую программа не смогла обработать из-за слабого соединения, обозначается “O”.

1. QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems / David Soldani, Man Li, Renaud Cuny. - Chichester, England, UK. 2006. – 1-3, 370 с.

2. Software Defined Radio using MATLAB® & Simulink® and the RTL-SDR / Robert W. Stewart, Kenneth W. Barlee. – Glasgow, Scotland, UK. 2015. – 3 с.

3. *Марков А.А.* Введение в теорию кодирования. — М.: Наука, 1982. — 192 с.

**MONITORING OF MOBILE NETWORK
SIGNALING MESSAGES BASED
ON THE SOFTWARE-DEFINED RTL RECEIVER**

Morozov A.

Supervisor of studies: A. Gaysin

(Kazan National Research Technical

University named after A. N. Tupolev–KAI, Kazan)

This article explores the possibility of using RTL-SDR in monitoring GSM signal traffic. The results of the capture downlink control messages are shown and described.

УДК 654.195

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ ФОРМАТА DAB/DAB+ В РФ

Ндреманизафу Р.У.А.

Научный руководитель: А.А. Сухарев, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассмотрены перспективы цифрового радиовещания формата DAB/DAB+ в конкуренции с традиционными OIRT и CCIR. Цифровые DAB/DAB+ активно начнут использоваться при переходе к системам многоканального звука форматов 10.2 и 22.2.

Основу отечественного радиовещания на сегодня составляет сеть УКВ ЧМ/FM передатчиков в полосе частот от 68 до 73 МГц и от 76 до 108 МГц в формате OIRT или CCIR, которые обеспечивают передачу стереосигналов в высоком качестве, достаточном для формирования объемного звукового образа в формате 5.1 (surround). В качестве примера устройства для такого формирования звукового образа можно указать приемник STR-LV500.

Первоначальные планы развития цифрового радиовещания в РФ подразумевали использование стандарта DRM (цифровое многопозиционная амплитудная модуляция в узкой полосе частот излучения) в частотном диапазоне от 148.5 до 283.5 МГц. На сегодняшний день существующее цифровое радиовещание двух программ производится в рамках одного из общенациональных мультиплексов цифрового вещательного телевидения формата DBV-T/T2. Близкий по принципу формат цифрового радиовещания DAB/DAB+ (многочастотная и многопозиционная модуляция с ортогональными несущими), рассматриваемый нами, уже используется в ряде стран в диапазоне частот от 173 до 220 МГц. Его главное отличие от DRM – широкополосный (5 – 8 МГц) спектр вещания мультиплекса на несколько (до 20) независимых каналов.

Уже существующий опыт цифрового радиовещания формата DAB/DAB+ в других странах позволяет на сегодня сделать главный вывод: существующее УКВ (ОБЧ) ЧМ радиовещание сохраняет

лидирующие позиции в радиовещании, основываясь на высоком качестве звука, широкой доступности и низкой стоимости мобильных, стационарных и автомобильных приемных устройств.

Традиционные задачи радиовещания (оповещение, информирование, развлечения и реклама), конкуренция, обеспечение гарантированных условий приема и ЭМС с другими радиосредствами не требуют обязательного перехода к формату DAB/DAB+. Поэтому главной проблемой внедрения формата DAB/DAB+ является переосмысление задач радиовещания.

С нашей точки зрения новой задачей радиовещания формата DAB/DAB+ должно стать обеспечение технических возможностей передачи перспективных систем многоканального звука (объемного звукового образа), например, в формате 22.2 (см. рис. 1). Такое условное расположение источников звука в трех слоях: верхнем (9), среднем (10), нижнем (3) плюс два низкочастотных обеспечивает максимальную достоверность формируемого звукового образа. Существуют и другие варианты реализации многоканального звука (10.2 тип А/тип В и др.), стандартизированные SMPTE [1].

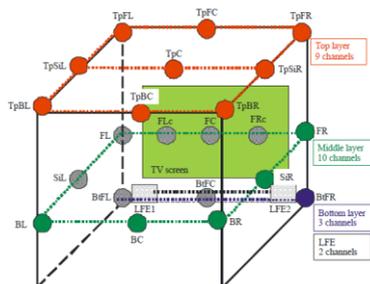


Рис. 1. Условное расположение источников звука в формате 22.2

Список литературы

1. BS.2159-7 (2015) / Report ITU-R BS.2159-7 Multichannel sound technology in home and broadcasting applications. – Электрон. дан. – Режим доступа: www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-BS.2159-7-2015-PDF-E.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT

**OF DIGITAL BROADCASTING FORMAT DAB / DAB +
IN THE RUSSIAN FEDERATION**

Ndremaninazafy R.H.A.

Supervisor: A. Sukharev, Ph.D.

(Kazan National Research Technical

University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan)

The prospects of digital broadcasting of DAB/DAB+ format in competition with traditional OIRT and CCIR are considered. Digital DAB/DAB+ will be actively used when switching to multi-channel sound systems of formats 10.2 and 22.2.

УДК 621.396.677.71.09

ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ЩЕЛЕВОМ ИЗЛУЧАТЕЛЕ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Немкова М.П.

*(Чувашский государственный
университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

Статья посвящена актуальной проблеме - исследованию дифракционных характеристик электромагнитных волн антенных решеток щелевых излучателей, работающих в многоволновом режиме приема. На основе строгого решения дифракции плоской электромагнитной волны на щелевом излучателе приводится приближенное решение данной задачи с помощью асимптотического приближения в пределах промежуточной и дальней зоны.

На основании точных формул [1] рассмотрим асимптотику диффрагированного поля при расстояниях близких к цилиндрической волне.

Выражения для случая, когда вектор напряженности магнитного поля падающей волны параллелен оси Ox , $\vec{H}_{пад} // Ox$. Далее рассмотрим асимптотику диффрагированного поля при расстояниях близких к плоской волне.

Если ширине щели значительно меньше длины волны $h \ll \lambda$, то

**ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОМ-
МУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ**

$$\begin{aligned} \dot{E}_X^E \text{ ДИФ} &\approx 2E_0 \sqrt{\frac{2}{\pi\rho\aleph_\tau}} e^{i\alpha_\tau (x \sin \tau + z \cos \tau) + i(\rho\aleph - \pi/4)} \times \\ &\left\{ K_{X1}^E \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{C_{e2n}(\aleph_\tau^2, 0) C_{e2n}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Me_{2n}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} C_{e2n}(\aleph_\tau^2, \eta) + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{C_{e2n+1}(\aleph_\tau^2, 0) C_{e2n+1}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Me_{2n+1}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} C_{e2n+1}(\aleph_\tau^2, \eta) \right] - \right. \\ &\times \left. - K_{X2}^E \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{Se'_{2n+2}(\aleph_\tau^2, 0) Se_{2n}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Ne_{2n}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} Se_{2n}(\aleph_\tau^2, \eta) + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{Se_{2n+1}(\aleph_\tau^2, 0) Se_{2n+1}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Ne_{2n+1}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} Se_{2n+1}(\aleph_\tau^2, \eta) \right] \right\} \\ \dot{E}_Z^E \text{ ДИФ} &\approx 2E_0 \sqrt{\frac{2}{\pi\rho\aleph_\tau}} e^{i\alpha_\tau (x \sin \tau + z \cos \tau) + i(\rho\aleph - \pi/4)} \times \\ &\left\{ K_{Z1}^E \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{C_{e2n}(\aleph_\tau^2, 0) C_{e2n}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Me_{2n}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} C_{e2n}(\aleph_\tau^2, \eta) + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{C_{e2n+1}(\aleph_\tau^2, 0) C_{e2n+1}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Me_{2n+1}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} C_{e2n+1}(\aleph_\tau^2, \eta) \right] - \right. \\ &\times \left. - K_{Z2}^E \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{Se'_{2n+2}(\aleph_\tau^2, 0) Se_{2n}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Ne_{2n}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} Se_{2n}(\aleph_\tau^2, \eta) + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{Se_{2n+1}(\aleph_\tau^2, 0) Se_{2n+1}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Ne_{2n+1}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} Se_{2n+1}(\aleph_\tau^2, \eta) \right] \right\} \\ &z \partial e \\ K_{X1}^E &= \frac{\sin \gamma \cos^2 \tau}{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma \cos^2 \tau}} \sin \eta, \quad K_{X2}^E = -\frac{\sin \tau \cos \gamma \cos^2 \tau}{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma \cos^2 \tau}} \cos \eta - \sin^2 \tau \\ K_{Z1}^E &= \frac{\sin \tau \sin \gamma \cos \tau}{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma \cos^2 \tau}} \sin \eta, \quad K_{Z2}^E = -\frac{\sin^2 \tau \cos \gamma \cos \tau}{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma \cos^2 \tau}} \cos \eta + \sin \tau \cos \tau \end{aligned}$$

Для описания суперпозиции плоских падающей и отраженной волн, асимптотику в пункте 1 можно использовать для расчета распределения поля на достаточно большом расстоянии от экрана без существенных ограничений на ширину щели.

$$\begin{aligned} K_{X1}^H &= -\frac{\sin \tau \cos \tau \sin \eta}{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma \cos^2 \tau}}, \quad K_{X2}^E = -\frac{\sin \gamma \cos \gamma \cos^2 \tau}{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma \cos^2 \tau}} \cos \eta - \sin \tau \sin \gamma \cos \tau \\ \dot{E}_Z^H \text{ ДИФ} &\approx 2E_0 \sqrt{\frac{2}{\pi\rho\aleph_\tau}} e^{i\alpha_\tau (-x \sin \tau + z \cos \tau) + i(\rho\aleph - \pi/4)} \times \\ &\left\{ K_{Z1}^E \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{C_{e2n}(\aleph_\tau^2, 0) C_{e2n}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Me_{2n}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} C_{e2n}(\aleph_\tau^2, \eta) + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{C_{e2n+1}(\aleph_\tau^2, 0) C_{e2n+1}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Me_{2n+1}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} C_{e2n+1}(\aleph_\tau^2, \eta) \right] - \right. \\ &\times \left. - K_{Z2}^E \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{Se'_{2n+2}(\aleph_\tau^2, 0) Se_{2n}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Ne_{2n}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} Se_{2n}(\aleph_\tau^2, \eta) + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{Se_{2n+1}(\aleph_\tau^2, 0) Se_{2n+1}(\aleph_\tau^2, \Psi')}{Ne_{2n+1}^{(1)}(\aleph_\tau^2, 0)} Se_{2n+1}(\aleph_\tau^2, \eta) \right] \right\} \\ K_{Z1}^E &= -\frac{\sin^2 \tau \sin \eta}{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma \cos^2 \tau}}, \quad K_{Z2}^E = -\frac{\sin^2 \tau \cos \gamma \sin \tau \cos^2 \tau}{\sqrt{1 - \cos^2 \gamma \cos^2 \tau}} \cos \eta + \sin \gamma \cos^2 \tau \end{aligned}$$

В случае, когда ширина щели меньше длины волны $2h < \lambda$ (т.е. $|4\chi^2|^2 < 1$). Сделав предельный переход при малых значениях

параметра χ_τ^2 в комбинированных и угловых функциях Матье [3], а так же в функциях Бесселя и Ханкеля [2], после преобразований-получим следующее выражение для составляющей диффрагированного поля в области $y < 0$ при $\xi \rightarrow \infty$:

$$\begin{aligned} \dot{E}_X^H \text{ Диф} &\approx 2E_0 \sqrt{\frac{2}{\pi \rho N_\tau}} e^{i\alpha_\tau(-x \sin \tau + z \cos \tau) + i(\rho N - \pi/4) \times} \\ &\left\{ K_{q1}^E \left[\sum_{n=0}^{\infty} (A_0^{2n})^2 \frac{C e_{2n}(N_\tau^2, \Psi')}{C e_{2n}^{(1)}(N_\tau^2, \frac{\pi}{2})} \frac{C e_{2n}(N_\tau^2, \eta)}{R A_{2n} - i A_{2n}} - N_\tau \sum_{n=0}^{\infty} (A_0^{2n+1})^2 \frac{C e_{2n+1}(N_\tau^2, \Psi')}{C e_{2n+1}'(N_\tau^2, \frac{\pi}{2})} \frac{C e_{2n+1}(N_\tau^2, \eta)}{R A_{2n+1} - i A_{2n+1}} \right] - \right. \\ &\times K_{q2} \left[N_\tau \sum_{n=0}^{\infty} (B_2^{2n+2})^2 \frac{S e_{2n+2}(N_\tau^2, \Psi')}{S e_{2n+2}^{(1)}(N_\tau^2, \frac{\pi}{2})} \frac{S e_{2n+2}(N_\tau^2, \eta)}{R B_{2n+2} - i B_{2n+2}} - \sum_{n=0}^{\infty} (B_1^{2n+1})^2 \frac{S e_{2n+1}(N_\tau^2, \Psi')}{S e_{2n+1}'(N_\tau^2, \frac{\pi}{2})} \frac{S e_{2n+1}(N_\tau^2, \eta)}{R B_{2n+1} - i B_{2n+1}} \right] \left. \right\} \\ K_{q1} &= \begin{bmatrix} K_{X1}^E & K_{X1}^H \\ K_{Z1}^E & K_{Z1}^H \end{bmatrix} \quad K_{q2} = \begin{bmatrix} K_{X2}^E & K_{X2}^H \\ K_{Z2}^E & K_{Z2}^H \end{bmatrix} \end{aligned}$$

где введены обозначения для случаев $\dot{E}_{\text{пад}} // OX$ и $\dot{H}_{\text{пад}} // OX$.

На основании формул разработаны программы для численного расчета распределения поля произвольно ориентированной щели с малой электрической шириной $kh \ll 1$ на достаточно большом расстоянии от плоскости ее размещения.

При исследовании распределения поля щели были поставлены две задачи:

1) Определить структуру поля щели в зависимости от ее ширины $2h$, угла наклона τ , в диапазоне длин волн, на заданном расстоянии y от плоскости ее размещения;

2) Установить насколько отличается $E_{y'}$ - составляющая диффрагированного поля от части его, соответствующей цилиндрической волне, для оценки использование расчета приближения цилиндрической волны.

Расчеты проводились: для E_x - составляющей поля в случае, когда $\dot{E}_{\text{пад}} // OX$; для E_z и E_x составляющих поля когда $\dot{H}_{\text{пад}} // OX$.

Построены графики

График 1. $\dot{E}_{пад} // OX$ в зависимости от ширины щели h , для углов наклона $\tau = 7.5^\circ; 30^\circ; 60^\circ$. В диапазоне волн: $\lambda = 3\text{мм}, \lambda = 20\text{см}$ при $y = -400\text{см}, z = 250\text{см}$ в сечениях $x = 0$ (рис.1-2).

График 2. $\dot{H}_{пад} // OX$ в зависимости от ширины щели h , для аналогичных углов, как и на рис. 1-2, и для тех же длин волн и параметров (рис.3-4).

Из графиков видно, что при фиксированной ширине щели $2h$ и фиксированном расстоянии между плоскостью размещения щели и точкой наблюдения y , амплитуды составляющих поля одиночной щели возрастают с увеличением длины волны λ . Это можно объяснить тем, что амплитуда поля в точке наблюдения определяется размерами зоны Френеля на раскрыве, т.к. размеры зон Френеля увеличиваются с возрастанием длины волны.

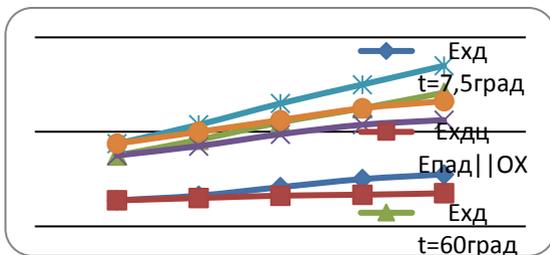


Рис. 1. $\dot{E}_{пад} // OX$ в зависимости от ширины щели h ($\lambda = 3\text{мм}$)

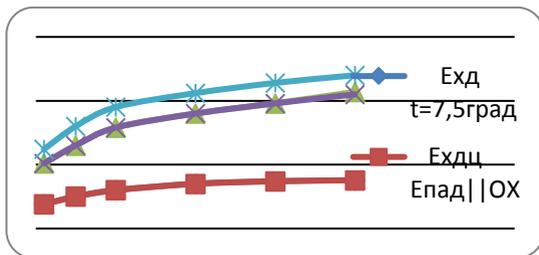


Рис. 2. $\dot{E}_{пад} // OX$ в зависимости от ширины щели h ($\lambda = 20\text{см}$)

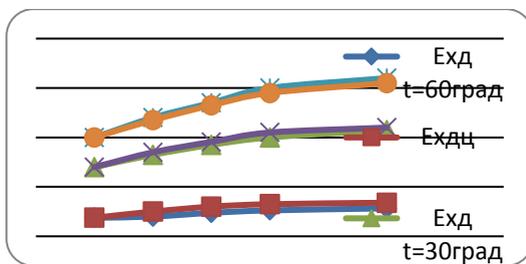


Рис. 3. $\dot{H}_{пад} // OX$ в зависимости от ширины щели h ($\lambda = 3$ мм)

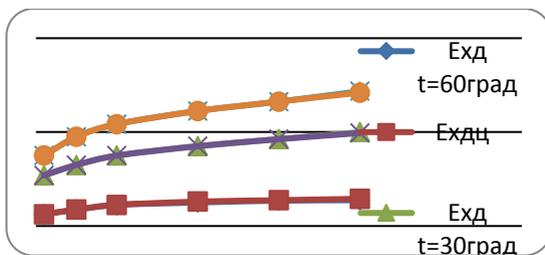


Рис. 4. $\dot{H}_{пад} // OX$ в зависимости от ширины щели h ($\lambda = 20$ см)

Список литературы

1. Пичугин В.Н., Пряников В.С. Электродинамические эффекты в антенной решётке щелевых излучателей в многоволновом режиме приёма // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2009. с. 31-33.

2. Пичугин, В.Н. Исследование дифракции электромагнитных волн на нелинейных рассеивателях. Вып.1 / В.Н. Пичугин, И.Г. Бугрова. – Москва: Научно-информационный журнал научно-исследовательского института образования и науки «Образование. Наука. Научные кадры», 2013. – 134 с.

3. Пичугин, В.Н. Исследование характеристик антенной решетки щелевых излучателей на основной частоте и в многоволновом режиме приема: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2004. – 120 с.

4. Пичугин, В.Н. Разработка программного инструмента для

готовности инфраструктуры энергетической службы к внедрению программного инструмента «Служба РЗА» // Сборник научных трудов: к 20-летию кафедры радиотехники и радиотехнических систем. / В.Н. Пичугин, М.А. Веряскина. – Чебоксары: Изд-во Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, 2014. – с. 97-103.

**THE APPROXIMATE SOLUTION
OF ELECTROMAGNETIC WAVE DIFFRACTION
ON THE SLOT RADIATOR ANTENNA ARRAY**

Nemcova M.

(Chuvash state University named I. N. Ulyanov, Cheboksary)

The article is devoted to the study of diffraction characteristics of electromagnetic waves antenna arrays for slit emitters, working in multiwavelength mode of reception. Based on the rigorous solution of diffraction of a plane electromagnetic wave on the slot radiator is an approximate solution of this problem using asymptotic approximation in the intermediate and far zones.

УДК 519.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ЧУА С ДИНАМИЧЕСКИМ ХАОСОМ

Парфинович Д.Р.

Научный руководитель: В.В. Афанасьев,
докт. техн. наук, профессор

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Выполнено моделирование процессов формирования многомерных псевдослучайных сигналов на основе дискретно-нелинейной системы Чуа с динамическим хаосом. Проведена оценка статистических характеристики формируемых псевдослучайных сигналов.

В радиоэлектронике интерес к динамическому хаосу, в значительной степени, связан с возможностью обеспечения передачи информации с высоким уровнем конфиденциальности [1]. Для передачи информации посредством динамического хаоса необходимо использование схем, способных генерировать хаотические колебания. Одной из наиболее удобных для реализации в виде радиоэлектронной схемы является схема Чуа. Схема Чуа описывается системой из трех нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка. Особенности поведения системы Чуа и оценка характеристик формируемых на её основе сигналов при различных параметрах системы, могут быть полезны при проектировании систем связи с применением эффектов динамического хаоса.

Целью работы является моделирование процессов формирования многомерных псевдослучайных сигналов на основе дискретно-нелинейной системы Чуа с динамическим хаосом, с последующей оценкой статистических характеристик формируемых многомерных сигналов.

Исследование проводилось в пакете MathCad. Для моделирования системы Чуа был применен численный метод решения дифференциальных уравнений Эйлера. Шаг дискретизации Δt при ре-

шении системы Чуа методом Эйлера выбирался из условия $K=T_1/\Delta t > 100$, где T_1 – период квазирезонансных колебаний системы [2]. Статистические характеристики оценивались с помощью встроенных функций MathCad.

В ходе моделирования одной из трудностей стал выбор параметров системы Чуа, которая показала высокую чувствительность к заданию значений её параметров. Особенно это касается построения кусочно-линейной аппроксимации вольт-амперной характеристики (ВАХ) нелинейного элемента (НЭ). Следует заметить, что, в настоящее время, существуют различные варианты системы Чуа и разные виды кусочно-линейной аппроксимации ВАХ НЭ. При моделировании применен вариант системы Чуа и вид аппроксимации ВАХ, приведенные в работе [2]. Корректная работа моделируемой системы Чуа наблюдалась при следующих значениях параметров, влияющих на кусочно-линейную аппроксимацию: $m_0=0,54$; $m_1=-0,15$; $G=0,47$ мСм.

Фазовые портреты промоделированной системы Чуа представлены на рис.1, соответствующие режимам работы системы: а) – периодический с бифуркацией удвоения периода при $\alpha=8,2$; $\beta=110/7$; б) – аттрактор Ресслера при $\alpha=8,6$; $\beta=110/7$; в) – аттрактор типа «двойной завиток» при $\alpha=9,2$; $\beta=110/7$.

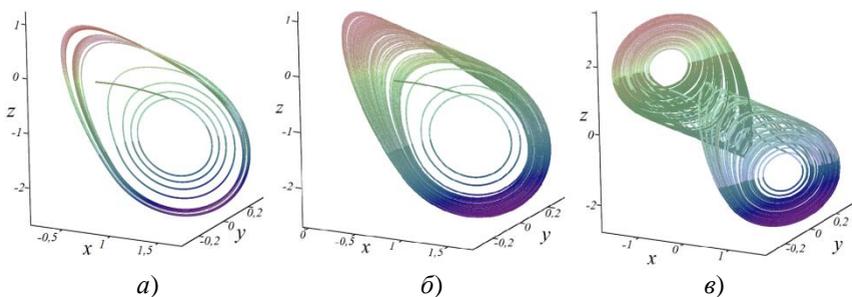


Рис. 1. Фазовые портреты промоделированной дискретно-нелинейной системы Чуа

При значении параметра $\alpha < 6,6$ в моделируемой системе возникает устойчивый фокус, когда колебания постепенно затухают. При $6,6 \leq \alpha < 8,2$ система работает в периодическом режиме. При $8,2 < \alpha < 8,6$ происходят бифуркации удвоения, а затем и учетверения

периода с соответствующими образованиями орбит удвоенного и учетверенного периода. При $8,6 \leq \alpha \leq 9$ наблюдается аттрактор Ресслера – первый аттрактор в системе Чуа, соответствующий хаотической динамике. При $\alpha > 9$ наблюдается хаотический аттрактор типа «двойной завиток».

Статистические характеристики формируемых сигналов оценивались при различных значениях параметра α , и фиксированном значении параметра $\beta=110/7$. В результате исследования моделируемой дискретно-нелинейной системы Чуа, получены оценки математического ожидания M и среднеквадратичного отклонения σ статистических характеристик 3-D сигналов (с компонентами X, Y, Z) при вариации параметра α , представленные в таблице 1.

Таблица 1

Статистические характеристики формируемых сигналов системы Чуа

α	β	$M(x)$	$M(y)$	$M(z)$	$\sigma(x)$	$\sigma(y)$	$\sigma(z)$
6,6	110/7	1.276	$1.592 \cdot 10^{-4}$	-1.276	0.074	0.05	0.217
7	110/7	1.188	$2.105 \cdot 10^{-4}$	-1.187	0.334	0.197	0.893
7,4	110/7	1.116	$-1.464 \cdot 10^{-4}$	-1.115	0.401	0.209	0.981
7,8	110/7	1.063	$2.51 \cdot 10^{-4}$	-1.061	0.442	0.211	1.016
8,2	110/7	1.012	$4.644 \cdot 10^{-4}$	-1.012	0.479	0.21	1.034
8,6	110/7	0.985	$4.401 \cdot 10^{-4}$	-0.984	0.506	0.202	1.02
9	110/7	0.441	$2.342 \cdot 10^{-5}$	-0.441	1.043	0.163	1.26
9,2	110/7	-0.088	$2.461 \cdot 10^{-5}$	0.088	1.122	0.17	1.345

Полученные данные позволяют оценить диапазоны изменения статистических параметров формируемых сигналов дискретно-нелинейной системы Чуа при вариации параметра α .

Таким образом, изменение параметра α влияет на режим и на статистические характеристики сигналов, формируемых в дискретно-нелинейной системе Чуа. Сопоставление полученных результатов с данными работ других авторов, подтверждает корректность и адекватность разработанной модели системы Чуа. Поэтому разработанная модель может применяться для исследований особенностей систем передачи информации на основе дискретно-нелинейной системы Чуа, оценки влияний шумовых воздействий

на порождаемые системой хаотические сигналы, а также исследования возможности управления статистическими характеристиками формируемых хаотических сигналов.

Список литературы

1. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е. Формирователи двоичных псевдослучайных сигналов на основе управляемых систем Лоренца и Чуа. // Телекоммуникации. 2012. N 12. С. 26 – 30.

2. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е. Анализ и синтез нелинейных радиоэлектронных динамических устройств и систем с варьируемым шагом временной сетки – Казань: Изд-во КГТУ, 2013. – 220 с.

DISCRETE-NONLINEAR CHUA'S CHAOTIC SYSTEM SIMULATING

Parfinovich D.

Supervisor: V. Afanasiev, Doctor of Technical Sciences, professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

The processes of formation of multidimensional pseudorandom signals based on the Chua nonlinear system with dynamic chaos were simulated. The statistical characteristics of the generated pseudo-random signals were evaluated.

УДК 621.396.677.71.09

СТРОГОЕ РЕШЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ЩЕЛЕВОМ ИЗЛУЧАТЕЛЕ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Пичугин В.Н.

*(Чуваши́ский государственный
университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары)*

Статья посвящена актуальной проблеме – исследованию дифракционных характеристик электромагнитных волн антенных решеток щелевых излучателей, работающих в многоволновом режиме приема. Проведено строгого аналитическое решение задачи дифракции плоской электромагнитной волны на щелевом излучателе. Проведен аналитический расчёт возникающих электродинамических эффектов в многоволновом режиме.

Антенные системы, представляющие собой электрические или магнитные вибраторы (щели), расположенные вблизи или на поверхности металлических тел различной формы. Поле, излучаемое такой антенной, представляет собой результат интерференции первичного поля, излучаемого вибратором (вибраторами) и вторичного (дифрагированного) поля, создаваемого системой токов, наведенных на поверхности данного тела первичным полем. Метод решения данной задачи состоит в следующем [3]:

1. Предполагается, что на данное тело падает плоская, определенным образом поляризованная волна, созданная бесконечно удаленным излучателем. Решая задачу дифракции этой волны на металлической поверхности данной геометрической формы, определяем в точке расположения электрического или магнитного вибратора составляющую полного поля, параллельную оси этого вибратора. Полагаем, что вибратор, расположенный вблизи данного тела, не влияет на структуру поля плоской волны, приходящей от удаленного источника.

2. Вибратор рассматривается как приемная антенна. Наводимая в нем ЭДС пропорциональна найденной составляющей полного поля, параллельной оси вибратора, и является функцией углов

падения плоской волны. На основании принципа взаимности эта ДН в то же время является ДН данного вибратора, работающего в режиме передачи. Форма ее зависит от геометрических параметров данного тела и координат точки расположения вибратора.

В качестве примера рассмотрим элементарный магнитный (щелевой) вибратор, расположенный на поверхности бесконечно длинного металлического эллиптического цилиндра, параллельной оси цилиндра (продольный вибратор) (рис. 1). Эллиптическим цилиндром может быть заменен ряд реальных металлических тел, вблизи которых располагаются вибраторы. Диаграмму направленности можно точно воспроизвести в двух случаях:

а) если она может быть представлена в виде конечной суммы функции Маттье параметра h , соответствующего заданной ширине раскрыва антенны;

б) если она разлагается в бесконечный ряд по функциям Маттье параметра h , коэффициенты которого обеспечивают сходимость ряда.

Дифракционное поле произвольно ориентированной щели в экране в декартовой системе k , не зависящей от ее ориентации, определяется подстановкой соотношений для компонентов поля в эллиптической системе в формулы, связывающие векторные функции в указанных системах координат.

Для этого необходимо выразить поле щели в эллиптической системе координат, связанной со щелью, для случая, когда вектор напряженности электрического поля \vec{E} или напряженности магнитного поля \vec{H} падающей волны ориентирован вдоль щели. Указанные выражения получаются в результате выражения граничной задачи методом разделения переменной на основе разложения плоской волны в ряды по функции Маттье [1].

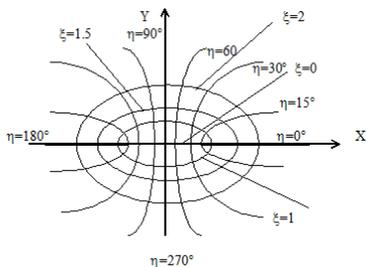


Рис. 1. Дифракционное поле произвольно ориентированной щели

Вводим декартову систему координат XYZ так, чтобы плоскость экрана совпадала с плоскостью XZ , а плоскость падения электромагнитной волны совпадала с плоскостью YZ . В общем виде поле падающей плоской электромагнитной волны в свободном пространстве

$$\begin{aligned} \dot{\vec{E}} &= \dot{\vec{E}}_0 (\bar{x}_0 \cos \alpha_1 + \bar{y}_0 \cos \alpha_2 + \bar{z}_0 \cos \alpha_3) e^{-ik(x \cos \gamma_1 + y \cos \gamma_2 + z \cos \gamma_3)} \\ \dot{\vec{H}} &= \dot{H}_0 \left(\sqrt{\frac{\mu \mu_0}{\epsilon \epsilon_0}} \right)^{-1} (\bar{x}_0 \cos \beta_1 + \bar{y}_0 \cos \beta_2 + \bar{z}_0 \cos \beta_3) e^{-ik(x \cos \gamma_1 + y \cos \gamma_2 + z \cos \gamma_3)} \end{aligned} \quad (1)$$

Перейдем от системы координат $(x; y; z)$, связанной с ориентацией падающего поля в пространстве, к системе координат, привязанной к расположению щели $(x'; y'; z')$ соотношениями (рис. 2).

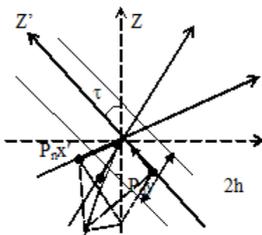


Рис. 2. Ориентация прямолинейной щели

Преобразуем степень при экспоненте с учётом продольных волновых чисел χ_τ и $\chi_{z'} = \alpha_\tau$ и угла ψ' .

В итоге получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\vec{E}}_{\text{ПАД}}^E = \dot{E}_0 \left[\mp \vec{x}'_0 \cos \tau \pm \vec{z}'_0 \sin \tau \right] e^{i[x' \chi_\tau \cos \Psi' \pm y' \chi_\tau \sin \Psi' + z' \alpha_\tau]} \\ \dot{\vec{H}}_{\text{ОТР}}^E = \frac{\dot{E}_0}{\sqrt{\frac{\mu_0 \dot{\mu}}{\varepsilon_0 \dot{\varepsilon}}}} \left[\mp \vec{y}'_0 \cos \gamma + \vec{x}'_0 \sin \gamma \sin \tau + \vec{z}'_0 \cos \tau \sin \gamma \right] e^{i[x' \chi_\tau \cos \Psi' \pm y' \chi_\tau \sin \Psi' + z' \alpha_\tau]} \end{array} \right. \quad (2)$$

Для $\vec{H}_{\text{пад}} \parallel OX$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\vec{E}}_{\text{ПАД}}^H = \dot{E}_0 \left[\pm \vec{x}'_0 \sin \gamma \sin \tau - \vec{y}'_0 \cos \gamma \pm \vec{z}'_0 \cos \tau \sin \gamma \right] e^{i[\pm y' \kappa \sin \gamma + x' \kappa \sin \tau \cos \gamma + z' \kappa \cos \gamma \cos \tau]} \\ \dot{\vec{H}}_{\text{ОТР}}^H = \frac{\dot{E}_0}{\sqrt{\frac{\mu_0 \dot{\mu}}{\varepsilon_0 \dot{\varepsilon}}}} \left[\vec{x}'_0 \cos \tau - \vec{z}'_0 \sin \tau \right] e^{i[\pm y' \kappa \sin \gamma + x' \kappa \sin \tau \cos \gamma + z' \kappa \cos \gamma \cos \tau]} \end{array} \right. \quad (3)$$

Далее преобразуем степень при экспоненте с учётом продольных волновых чисел:

В итоге получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\vec{E}}_{\text{ПАД}}^H = \dot{E}_0 \left[\pm \vec{x}'_0 \sin \gamma \sin \tau - \vec{y}'_0 \cos \gamma \pm \vec{z}'_0 \cos \tau \sin \gamma \right] e^{i[x' \chi_\tau \cos \Psi' \pm y' \chi_\tau \sin \Psi' + z' \alpha_\tau]} \\ \dot{\vec{H}}_{\text{ОТР}}^H = \frac{\dot{E}_0}{\sqrt{\frac{\mu_0 \dot{\mu}}{\varepsilon_0 \dot{\varepsilon}}}} \left[\vec{x}'_0 \cos \tau - \vec{z}'_0 \sin \tau \right] e^{i[x' \chi_\tau \cos \Psi' \pm y' \chi_\tau \sin \Psi' + z' \alpha_\tau]} \end{array} \right. \quad (4)$$

Из анализа падающего поля видно, что в обоих случаях $\vec{E}_{\text{пад}} \parallel OX$ и $\vec{H}_{\text{пад}} \parallel OX$ в щели расположенной вдоль оси OZ' , падающая волна имеет две составляющие $H_{z'}$ и $E_{z'}$.

Задача нахождения полного (суммарного) поля решена. В данном случае степень приближения к геометрическим телам произвольной формы очень велика. Поэтому задача нахождения полного поля сильно упрощается.

Список литературы

1. Леонтович М.А. Об одной теореме теории дифракции и ее применении к дифракции на узкой щели произвольной длины. – ЖЭТФ, 1946, № 6, с. 474–479.

2. Хаил Х. Теория дифракции: Пер. с нем. Под ред.

Г.Д. Малюэкинца. – М: Мир, 1964.

3. *Никольский Л.Н.* Электромагнитные волны в продольно однородных структурах. М: Наука, 1981.

4. *Пичугин В.Н., Пряников В.С.* Электродинамические эффекты в антенной решётке щелевых излучателей в многоволновом режиме приёма // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева, Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева, 2009. с. 31–33.

5. *Пичугин, В.Н.* Исследование дифракции электромагнитных волн на нелинейных рассеивателях. Вып. 1 / В.Н. Пичугин, И.Г. Бугрова. – Москва: Научно-информационный журнал научно-исследовательского института образования и науки «Образование. Наука. Научные кадры», 2013. – 134 с.

6. *Пичугин, В.Н.* Исследование характеристик антенной решетки щелевых излучателей на основной частоте и в многоволновом режиме приема: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2004. – 120 с.

7. *Пичугин, В.Н.* Разработка программного инструмента для готовности инфраструктуры энергетической службы к внедрению программного инструмента «Служба РЗА» // Сборник научных трудов: к 20-летию кафедры радиотехники и радиотехнических систем. / В.Н. Пичугин, М.А. Верякина. – Чебоксары: Изд-во Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова, 2014. – с. 97–103.

RIGOROUS SOLUTION OF ELECTROMAGNETIC WAVE DIFFRACTION ON THE SLOT RADIATOR ANTENNA ARRAY

Pichugin V.

(Chuvash state University named I. N. Ulyanov, Cheboksary)

The article is devoted to the study of diffraction characteristics of electromagnetic waves antenna arrays for slit emitters, working in multiwavelength mode of reception. Conducted a rigorous analytical solution of the problem of diffraction of a plane electromagnetic wave on the slot radiator. An analytical

*ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОМ-
МУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ*

calculation of electrodynamic effects occurring in the multiwave mode.

УДК 621.391;519.27

ОТНОШЕНИЕ ЭНЕРГИИ СИГНАЛА И КОМПЛЕКСА ПОМЕХ НЕ БЕЗУСЛОВНО ПРЕДСТАВЛЯЕТ КАЧЕСТВО РАДИОПРИЕМА

Сергеев А.А.

Научный руководитель: Ш.М. Чабдаров,
докт. техн. наук, профессор

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казань)*

В докладе на простейшем одномерном примере показывается, что в отличие от отношения сигнал/шум при наличии только шума отношение сигнал/помехи не является показателем помехоустойчивости обнаружения сигнала при воздействии совместно шумовой и импульсной помех.

1. Введение

Представляемая в настоящем докладе работа направлена на создание по возможности простейшего контрпримера распространенным в мировой и отечественной литературе попыткам использования в качестве показателя помехоустойчивости приема определенного сигнала в определенном комплексе нескольких помех отношения энергии этого сигнала к взвешенной сумме энергий помех, входящих в этот комплекс, что в подавляющем большинстве случаев обречено на ошибку примерно той же природы, что и попытки использования в статистических задачах радиоприема описания комплекса радиофизически разнородных помех “эквивалентным” белым гауссовским шумом.

Уместно отметить, что оба направления вышеуказанных попыток обычно не имеют должного исследования их применимости и, видимо, предпринимаются под впечатлением от эффективности скалярного показателя “сигнал/шум”, который отличается безупречно строгим обоснованием в результате анализа помехоустойчивости оптимального алгоритма обнаружения сигнала в тепловом шум приемника.

Удивительная на первый взгляд скалярность показателя “сигнал/шум” при наличии в исходных данных таких задач и пара-

метров формы или амплитудно-фазовых частотных характеристик сигнала, его энергетических вероятностных характеристик объясняется тем, что “главный герой” здесь-белый гауссовский шум с нулевым средним, полная модель которого содержит единственный параметр-спектральную плотность мощности, постоянную на всей оси частот.

Всевозможные другие помехи, отличные от белого гауссовского шума, и, тем более, случайные комплексы помех, требуют для их полного описания много параметров. Поэтому помехоустойчивость приема сигналов при этих помехах, как правило, определяться вектором характерных для каждого сигнально-помехового комплекса величин. Но нет правила без исключения...

В связи с последним построены два банальных примера: а) комплекс различных независимых помех состоит из некоррелированных помех с нулевыми средними и различными дисперсиями. б) Второй пример в защиту отношения “сигнал/помехи”-совместное действие всевозможно флуктуирующих помех, суперпозиция которых удовлетворяет условиям центральной предельной теоремы.

2. Вероятности ошибок обнаружения сигнала при комплексе гауссовского шума и импульсной помехи.

Рассмотрим пример, в котором есть сигнал s_1 и импульсная помеха s_n с вероятностями наличия p_c и p_n . С сигналом и с импульсной помехой складывается случайный шум n , который описывается нормальным (гауссовым) распределением плотности вероятности с нулевым средним:

$$p_u(U) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{U^2}{2\sigma^2}\right).$$

При наличии сигнала или импульсной помехи плотность распределения вероятности (ПРВ) будет уже не с нулевым средним, а с s_1 или s_n соответственно. Кроме того, возможен случай, когда есть и сигнал, и помеха. В этом случае s_1 и s_n складываются.

На рисунке 1 представлен пример, в котором напряжение сигнала s_1 постоянно и равно 4В, а напряжение импульсной помехи s_n имеет два значения и равно 6 и 12 В. Вероятности наличия

сигнала и импульсной помехи $p_c = p_n = 0,5$; $\sigma = 1$.

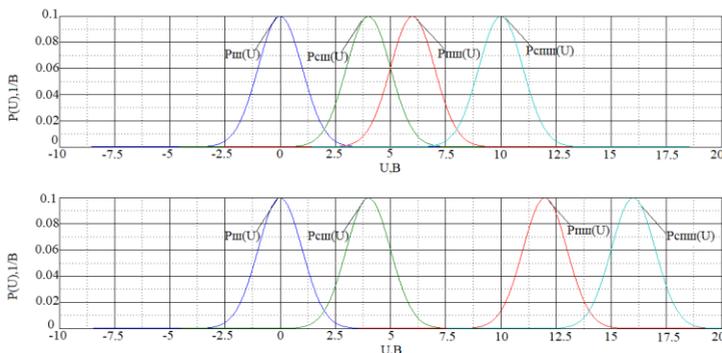


Рис. 1. Графики плотностей вероятности $p_{iu}(U)$, $p_{ciu}(U)$, $p_{niu}(U)$ и $p_{cniu}(U)$

Из рисунка 1 видно, что будут три порога, задающие правило принятия решения о наличии сигнала. Порог U_1 будет определяться точкой пересечения плотностей $p_{iu}(U)$ и $p_{ciu}(U)$. Порог U_2 будет определяться точкой пересечения плотностей $p_{ciu}(U)$ и $p_{niu}(U)$. Порог U_3 будет определяться точкой пересечения плотностей $p_{niu}(U)$ и $p_{cniu}(U)$. Значения других плотностей в вышеуказанных точках пересечения достаточно малы, поэтому ими можно пренебречь.

Вычислим значения вероятности ошибки $P_{ои}$, изменяя величину напряжения импульсной помехи s_n от 0 до 15В с шагом 3В. При этом напряжение сигнала s_1 остается неизменным и равно 4В. Вероятности наличия сигнала и импульсной помехи $p_c = p_n = 0,5$; $\sigma = 1$.

В общем виде формула для $P_{ои}$ записывается следующим образом: $P_{ои} = p_1^{(c)} \bar{D} + p_0^{(c)} F$; где $p_1^{(c)}$ – вероятность наличия сигнала. $p_0^{(c)}$ – вероятность отсутствия сигнала. \bar{D} – вероятность пропуска сигнала. F – вероятность ложной тревоги. Для случая,

когда есть три границы принятия решения, вероятность пропуска сигнала записывается как $\overline{D} = p_{cui} \overline{D}_1 + p_{cnu} \overline{D}_2$. А вероятность ложной тревоги $F = p_{ui} F_1 + p_{nu} F_2$; где $\overline{D}_1 =$

$$\int_{-\infty}^{U_1} p_{cui}(U) dU + \int_{U_2}^{U_3} p_{cui}(U) dU ;$$

$$\overline{D}_2 = \int_{U_2}^{U_3} p_{cnu}(U) dU + \int_{-\infty}^{U_1} p_{cnu}(U) dU ;$$

$$F_1 = \int_{U_1}^{U_2} p_{ui}(U) dU + \int_{U_3}^{+\infty} p_{ui}(U) dU ; F_2 = \int_{U_1}^{U_2} p_{nu}(U) dU + \int_{U_3}^{+\infty} p_{nu}(U) dU$$

;Для случая, когда значение напряжения импульсной помехи принимает значение 0В и будет одна граница U_1 , то $\overline{D}_1 =$

$$\int_{-\infty}^{U_1} p_{cui}(U) dU , \overline{D}_2 = \int_{-\infty}^{U_1} p_{cnu}(U) dU ;$$

$$F_1 = \int_{U_1}^{+\infty} p_{ui}(U) dU , F_2 = \int_{U_1}^{+\infty} p_{nu}(U) dU .$$

При расчете вероятности ошибки $P_{ош}$ при разных величинах напряжения импульсной помехи пороги U_1 , U_2 и U_3 возьмем оптимальными для каждого случая. В итоге мы получим график зависимости $P_{ош}$ от величины напряжения импульсной помехи s_n , который изображен на рисунке 2

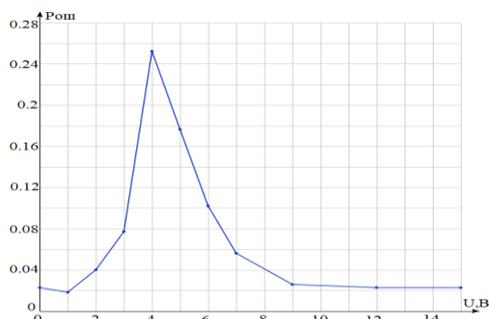


Рис. 2. График зависимости $P_{ош}$ от напряжения имп. помехи

На графике мы видим, что вероятность ошибки $P_{ош}$ является максимальной, когда величина напряжения импульсной помехи принимает значение $s_n 4В$. На участках, расположенных слева и справа от этого значения вероятность ошибки уменьшается.

Представим график зависимости вероятности ошибки не от напряжения импульсной помехи, а от суммарной энергии помехи + энергии шума. Этот график представлен на рисунке 3.

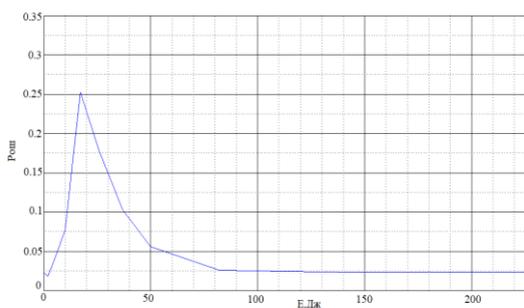


Рис. 3. График зависимости $P_{ош}$ от энергии помехи+энергии шума

По этому графику видно, что существует некоторое противоречие. С одной стороны, с увеличением энергии помехи при постоянных энергиях сигнала и шума величина отношения сигнал/(шум+помеха) будет монотонно уменьшаться, но, с другой

стороны, вероятность ошибки изменяется не в полном соответствии с изменением отношения сигнал/помехи и, более того, функция зависимости вероятности ошибки от изменения этого “показателя” влияет даже на знак производной: начиная с величины напряжения помехи, равной величине сигнала $4B$, с уменьшением отношения сигнал/помехи вероятность ошибки не только не возрастает, а уменьшается.

Наличие подобных примеров свидетельствует о необходимости проверки правомерности использования “показателя” сигнал/помехи при комплексах помех, а в принципе-об его неадекватности безусловному использованию в задачах с комплексами разнородных помех.

**THE RATIO OF THE SIGNAL ENERGY
AND THE INTERFERENCE COMPLEX
DOES NOT NECESSARILY REPRESENT
THE QUALITY OF THE RADIO RECEPTION**

Sergeev A., Chabdarov Sh.

Supervisor: Sh. Chabdarov, Dr. Sc. (Eng.), Professor
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)*

The report in the simplest one-dimensional example shows that, unlike the signal-to-noise ratio in the presence of only noise, the signal-to-interference ratio is not an indicator of interference immunity of signal detection when combined noise and impulse noise is applied.

УДК 004.35

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОММУНИКАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ НЕЗРЯЧИХ ЛЮДЕЙ

Тагиров Р.Р.

Научный руководитель: О.Р. Ситников, канд. техн. наук, доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань*)

В статье рассмотрены проблемы незрячих людей. Разработаны и предложены мероприятия по оказанию помощи в пространственном ориентировании вне жилых помещений. Анонсирована разработка программно-аппаратного комплекса на базе GPS/Глонасс-ориентирования и визуальном сканировании местности с функцией голосового оповещения.

По данным крупного агентства по профилактике слепоты, во всем мире приблизительно 285 млн. жителей нашей планеты мучаются от нарушений зрения, из них 39 млн. поражены слепотой. В пределах 90 % жителей нашей планеты, испытывающих страдания от нарушений зрения, живут в странах с невысоким заработком. От нарушений зрения страдают 19 млн. несовершеннолетних, 1,4 миллиона несовершеннолетних считаются необратимо слепыми.

В РФ заболеваемость патологией органа зрения составляет около 11 тысяч человек на 100 тысяч населения. По достоверным данным главного окулиста РФ Владимира Владимировича Нероева, число учтенных слепых и слабовидящих в нашей стране составляет 218 тыс. человек, из них абсолютно слепых – 103 тыс. Ежегодно в РФ количество лиц в первый раз ставшими инвалидами в следствии нарушения зрения составляет около 45 тыс. В контингенте инвалидов по зрению 22 % составляет молодые люди.

Большой проблемой для незрячих людей является проблема передвижения вне дома и зданий. Особенно проблематичным является передвижение такой категории людей по улицам, а также обеспечение безопасности при переходе дорог. В настоящее время разрабатываются устройства для помощи слепым людям. в том

числе и для передвижения слепого человека по местности.

В Швеции разработан концепт гаджета Munivo [1]. Он использует для ориентации в пространстве маленький эхолокатор, который «ощупывает» место и делает картину в программе работающего с ним девайса. Делая упор на данные эти, компьютер девайса делает лучшую для жителя нашей планеты траекторию перемещения и быстро предостерегает его о преградах: фонарных столбах либо идущих навстречу людях.

Кроме этого, концепт Munivo способен информировать пользователя про то, что делается вокруг. Чтобы достичь желаемого результата наладонник Munivo оборудован особыми панелями из силикона, которые с помощью четырех активных точек в различных комбинациях рекомендуют слабовидящему повернуть направо, пойти вперед или резко остановиться. Аппарат миниатюрный и удобен для пользователя. Однако в дождливую и холодную погоду обеспечить безопасность на проезжей части он не может.

Специальные вибрирующие туфли, которые позволят слепым «видеть» ногами, придумали в Чехии [1]. Механизм работы необыкновенной обуви был позаимствован у летучих мышей, которые, невзирая на нехорошее зрение, очень редко наталкиваются на препятствия. Исключительно за место акустических волн приняли решение принимать на вооружение световые волны.

В подошву встроено особое приспособление, испускающее инфракрасный свет. Окружающий в нем датчик воспринимает световые волны, которые отражаются от преград, встречающихся на пути слепого. Воспринимая отраженную волну, датчик включает особый вибратор, также встроенный в подошву. Вибрация подошвы предупреждает владельца про то, что на его пути присутствует препятствие и ему надлежит быть осторожнее.

Такую обувь применяют как ежедневную лишь летом. Срок работы урезан емкостью батареек, которые нужно менять ежедневно. Помимо всего этого, вибрирующие туфли не готовы давать информацию о находящихся вокруг объектах.

Ученые Оксфордского университета разработали «умные очки», которые оснащены миниатюрными камерами, светодиодами и карманным компьютером [1]. Камеры фиксируют изображение, а потом передают информацию компьютеру. Миниатюрное приспособ-

собление обрабатывает данные, после этого отправляет сигналы обладателю очков в виде световых вспышек. При помощи данных сигналов слабовидящий человек имеет возможность выяснить, какой объект располагаться перед ним.

В набор очков кроме того входят наушники. Камеры считывают информацию, которая в последствии обработки передается через наушники. Это помогает различать номера автобусов или узнавать расписание поездов.

Это может помочь отличать номера автобусов либо распознавать расписание поездов.

Такие очки не имеют возможности поспособствовать полностью слепым людям, они рассчитаны на тех, у кого остатки зрения способны принимать свет.

Очки Assisted Vision Smart Glasses состоят из двух прозрачных OLED-дисплеев, двух небольших камер, гироскопа, компаса, модуля GPS и наушников [2]. Очки обрабатывают поступающую с камер визуальную информацию и конвертируют ее необыкновенным образом: например, при помощи яркости создается глубина изображения, возможность. Так как слабовидящие нередко имеют все шансы распознавать свет и мглу, очки станут буквально «подсвечивать» те объекты, которые присутствуют поближе к человеку, давая ему вероятность отличать вещи и людей на дистанции.

Камеры помимо прочего подключаются к компьютеру, который сканирует изображение, выделяя, например, номера автобусов, символы и указатели. Модуль GPS употребляется для навигации, а гироскоп – для отслеживания поворотов головы человека и определения его положения в пространстве. Эта вся информация кроме того станет проговариваться вслух в особые наушники.

На данное время есть лишь рабочие макеты очков. Они довольно массивные и не могут поспособствовать полностью слепым людям.

В мексиканском институте Cinvestav разрабатывают еще одни умные очки AI Glasses [2]. В них используются заслуги вычислительной геометрии, исследования искусственного интеллекта и ультразвуковые технологии. Таковой научно-технический коктейль даст возможность очкам существенно упростить жизнь слабовидящих людей.

ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОМ- МУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

У него есть возможность узнавать визуальную информацию, также определять географическое положение человека. Очки в словном смысле снабжают слепого всеми важными познаниями и вслух обрисовывают находящееся вокруг место, включая номера, наименования улиц, вывески причем даже цвета. Искусственный интеллект внутри прибора способен обучаться и запоминать пользующиеся популярностью маршруты и вещи. Так как для ориентирования в очках используется ультразвук, им предоставляется возможность отличать в том числе и прозрачные вещи, например, окошка, зеркала и стеклянные двери. Стоимость их очень высока.

Электронные глаза OrNavi представляют собой мобильный гаджет без экрана с рядом крупных клавиш [3]. Программное обеспечение устройства тщательно продумано, интерфейс у него исключительно голосовой. В непрерывном режиме навигатор сообщает, мимо каких объектов проходит владелец: магазины, аптеки, банки, парки и прочее. При приближении к подъезду прозвучат и его номер по счёту, и номера квартир в нём. Навигатор способен озвучивать не только здания, но и все объекты городской инфраструктуры – газоны, фонтаны, лестницы. На остановке общественного транспорта навигатор способен сообщить о номерах маршрутов, а в автобусе – название ближайшей остановки. Звук в устройстве передаётся через наушники с костной проводимостью, благодаря чему уши пользователя остаются открытыми и он может слышать окружающие звуки, что очень важно для лишённых зрения. Интересный элемент в навигаторе – очки, построенные на базе Microsoft Kinect, датчика от игровой консоли Xbox.

С помощью камеры и датчика глубины изображения очки фактически выполняют работу собаки-проводника – их «глаза» смотрят на несколько метров вперёд и замечают ступеньки (подсказывая, вверх они идут или вниз), ямы, столбы и прочие городские препятствия. Устройство предупреждает заранее и о расстоянии, и о стороне, с которой препятствие лучше обойти.

Помимо этого очки оснащены голосовыми подсказками, помогающими определить номинал купюры, прочитать вывеску, распознать цвет (например, чтобы подобрать одежду перед выходом или разложить носки по парам), отсканировать штрихкоды, чтобы узнать тип продукта. Электронные глаза OrNavi дают наиболее

полную картину об окружающем мире. Но в управлении устройство достаточно сложно: на устройстве очень много кнопок, с которыми слепому человеку не только сложно быстро пользоваться при передвижении по проезжей части, но и просто в них разобраться.

Приведенные устройства очень полезны для слабовидящих людей в тех или иных условиях. Однако большинство из них ориентировано на людей с остатками зрения. Кроме того существующие предложения достаточно громоздки, сложны в обращении и пока дороги по цене.

Для ориентирования на улице и безопасного пересечения проезжей части дорог абсолютно слепым людям необходима информация о пространственном ориентировании, наличии препятствий на их пути и сигналах регулирования движения. Слепому необходимо получать голосовую информацию об окружающей обстановке, которая должна быть синтезирована на основе GPS/Глонасс-ориентирования и визуальном сканировании местности. С этой целью в Казанском учебно-исследовательском и методическом центре при КНИТУ-КАИ разрабатывается программно-аппаратный комплекс «Путеводитель».

При передвижении человека по улице устройство будет сообщать человеку о необходимом маршруте, всех появляющихся препятствиях на пути его следования, а так же информацию о разрешениях или запрещениях в движении, например при переходе проезжей части дороги.

Конструктивно, программно-аппаратный комплекс «Путеводитель» будет представлять собой мобильный гаджет без экрана с минимумом управляющих элементов и встроенным модулем GPS/Глонасс. Он оснащается тремя крупными клавишами и максимально прост в управлении. Основной элемент в комплексе – очки, оснащенные камерами слежения и сканером расстояний. Помимо этого, в очки встроены наушники для выдачи голосовых подсказок.

Программное обеспечение комплекса способно с высокой точностью определять местоположение человека и ориентировать его в выбранном направлении движения. Точное позиционирование обеспечивает GPS/Глонасс трекер, обеспечивающий точность

позиционирования около 1 м. Информация с камер слежения и сканера расстояний анализирует окружающую обстановку и преобразуется в голосовые подсказки об объектах и препятствиях на маршруте движения. Устройство способно оценивать территорию на несколько метров вперёд и предупреждает заранее о расстоянии и нахождении препятствия. Например, будет распознавать ступеньки (подсказывая, вверх они идут или вниз), ямы, столбы и прочие городские препятствия, определить где находится пешеходный переход и помочь безопасно перейти по нему.

В целом на сегодняшний день каждая из составляющих в той или иной степени решена. Одна из технических трудностей – создание специальных карт для навигации с максимальным детализированием пространства.

Решив эти задачи и воплотив их в единый программно-аппаратный комплекс, можно помочь большому числу людей с ослабленным зрением или его отсутствием. Массовое обеспечение незрячих людей такими устройствами поможет адаптироваться им во внешнем мире и чувствовать себя в городских условиях достаточно комфортно.

Список литературы

1. Кузина С. 10 лучших изобретений, которые слепых делают зрячими: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ufa.kp.ru/daily/25770/2755049/>.

2. Пять изобретений, которые помогают слепым людям видеть: [Электронный ресурс]. URL: <http://nig.mirtesen.ru/blog/43668470466/5-izobreteniy,-kotoryie-pomogayut-slepyim-lyudyam-videt>.

3. Oriense – устройства для незрячих и слабовидящих: [Электронный ресурс]. URL: <http://oriense.ru/>.

ON THE OPPORTUNITIES OF ELECTRONIC DEVICES FOR COMMUNICATION IN THE SPACE OF BLIND PEOPLE

Tagirov R.

Supervisor: O. Sitnikov,
candidate of technical sciences, assistant professor
*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)*

In the article the problems of blind people are considered. Developed and proposed measures to assist in spatial orientation outside living quarters. The development of the hardware-software complex based on GPS/Glonass-orientation and visual scanning of the terrain with the voice alert function was announced.

УДК 621.396.49

ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СЕТЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В ПОМЕЩЕНИИ

Фазылов Л.И., Аминова Р.Р.

Научный руководитель: Е.А. Спирина, канд. техн. наук, доцент
*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева, г. Казань)*

В работе проводится анализ применимости метода оценки гарантированной информационной скорости передачи данных фиксированных сетей широкополосного радиодоступа, работающих вне помещений, и определение его параметров для WI-FI сетей, работающих внутри помещений. По результатам анализа делается вывод о возможности применения этого метода с учётом коррекции его параметров для WI-FI сетей, работающих внутри помещений при значениях уровня сигнала на входе приёмного устройства менее -60 дБм и необходимости его доработки при больших уровнях сигнала.

В настоящее время беспроводной широкополосный доступ к мультимедийным услугам обеспечивается, в основном, с помощью WI-FI сетей, при планировании которых важно правильно оценивать информационные скорости передачи данных. Для фиксированных сетей широкополосного радиодоступа, работающих вне помещений, в работе [1] предложен метод оценки гарантированной информационной скорости передачи данных и определены его параметры. WI-FI сети, работающие внутри помещений, используют те же технологии передачи данных, поэтому целесообразно рассмотреть применимость разработанного метода для этих сетей.

Для этого необходимо решить ряд задач:

- развернуть тестовую WI-FI сеть стандарта 802.11n на кафедре РТС 5-го учебного здания КНИТУ-КАИ;
- провести экспериментальное исследование зависимости информационной скорости передачи данных от уровня сигнала в точке приёма;
- рассчитать согласно [1] значения информационной скорости

сти передачи данных для тех же уровней сигналов;

– провести коррекцию параметров метода, предложенного в [1], на базе полученных экспериментальных данных;

– сделать выводы о применимости метода, предложенного в [1], для WI-FI сетей, работающих в помещении.

Тестовая сеть включает в себя одну точку доступа ELTEX WEP-12ac, работающую на 40 частотном канале, FTP сервер, мобильный телефон «Xiaomi mi4c» с программным обеспечением «Уровень сигнала» и «AndiFtp». Измерения проводились в различных точках кафедры РТС, с уровнем сигнала, регистрируемым с помощью программы «Уровень сигнала», меняющемся в диапазоне от -90 до -40 дБм. В каждой точке регистрировалось значение информационной скорости передачи данных при чтении тестового файла с FTP сервера с использованием программы «AndiFtp». Для этих же точек проводился расчёт информационных скоростей передачи данных по методу, предложенному в работе [1], со значениями коэффициентов из этой же работы: $k_\lambda = 0,67$, $\Gamma = 13,12$.

Зависимости информационной скорости передачи данных, полученной экспериментально и рассчитанной по модели [1] от уровня сигнала приведены на рисунке 1.

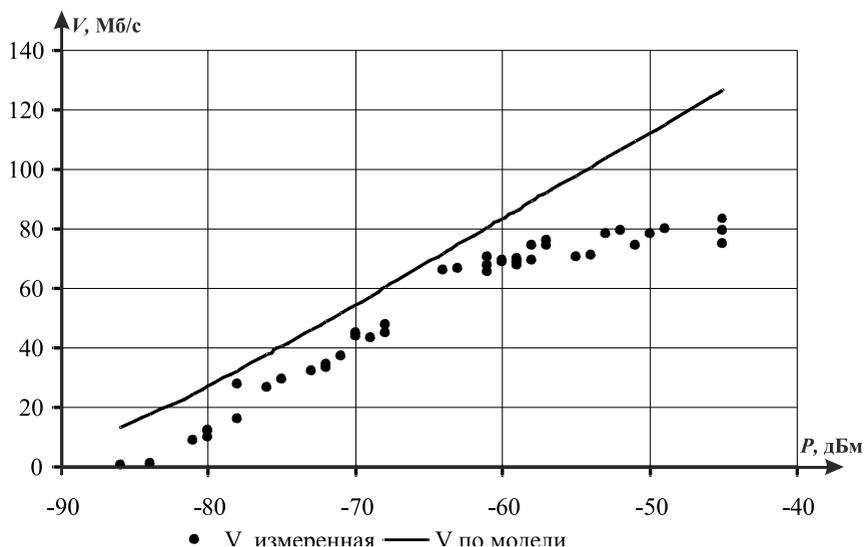


Рис. 1. Зависимости информационной скорости передачи данных от уровня сигнала

Из зависимостей, приведенных на рисунке 1 видно, что угол наклона экспериментальной и расчётной кривых существенно отличается. Этот эффект может быть связан с отличием параметров метода оценки гарантированной информационной скорости передачи данных сетей, работающих вне и внутри помещений.

В связи с этим необходимо провести коррекцию коэффициентов k_λ , Γ , согласно методу, предложенному в работе [1] по экспериментальным данным:

$$k_\lambda = \frac{L \cdot \sum_{l=1}^L V_l \cdot V_{lreal} - \sum_{l=1}^L V_l \cdot \sum_{l=1}^L V_{lreal}}{L \cdot \sum_{l=1}^L V_l^2 - \left(\sum_{l=1}^L V_l \right)^2} \quad (2)$$

$$\Gamma = 2^{-2 \frac{\sum_{l=1}^L V_{lreal} - k_\lambda \cdot \sum_{l=1}^L V_l}{k_\lambda \cdot v_c}}, \quad (3)$$

где V_l и V_{lreal} – соответственно расчётная канальная и измеренная информационная скорости передачи данных для всех $l = \overline{1, L}$ точек измерения;

L – количество точек измерения;

v_c – техническая скорость передачи данных.

Зависимости информационной скорости передачи данных, полученной экспериментально и рассчитанной по методу, предложенному в работе [1], с откорректированными значениями коэффициентов, равными $k_\lambda = 0,50$, $\Gamma = 14,30$, от уровня сигнала приведены на рисунке 2.

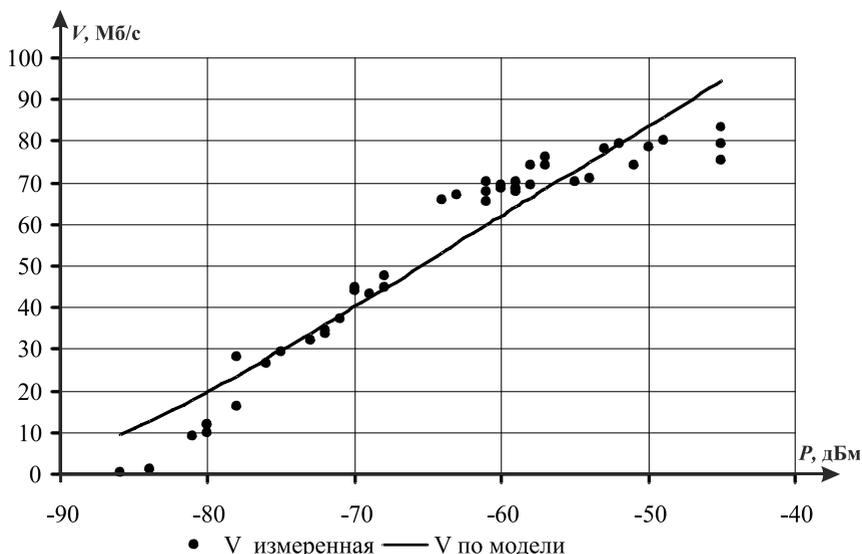


Рис. 2. Зависимости информационной скорости передачи данных от уровня сигнала

Из зависимостей, приведенных на рисунке 2 видно, что отклонение расчётных значений от экспериментальных данных снизилось. При этом экспериментальная кривая имеет явный нелинейный участок при больших уровнях сигналов, не встречающихся в сетях, работающих вне помещений. Эта нелинейность может быть вызвана достижением максимальной для выбранного стандарта канальной, а, следовательно, и информационной скорости передачи данных, ограниченной применяемыми в стандарте 802.11n [2] схемами модуляции и кодирования. Наличие этой нелинейности приводит к визуально различным коэффициентам наклона экспериментальной и расчетных кривых, что увеличивает отклонения оценок информационной скорости передачи данных, получаемых на основе метода, приведённого в [1].

Таким образом, проведённые исследования показали возможность применения метода оценки гарантированной информационной скорости передачи данных и определения его параметров, предложенных в работе [1] для WI-FI сетей, работающих внутри помещений при значениях уровня сигнала на входе приёмного

устройства менее -60 дБм. Для оценки информационной скорости передачи данных при больших уровнях сигнала необходима доработка метода с учётом применяемых в стандарте схем модуляции и кодирования.

Список литературы

1. *Петрова Е.А.* Оценка гарантированной информационной скорости передачи в сетях широкополосного радиодоступа с учётом внутрисистемных помех // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2014. – № 10. – <http://jre.cplire.ru/jre/oct14/7/text.html>.
2. IEEE Std 802.11nTM-2009. [электронный ресурс] <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11n-2009.pdf>

INDOOR WIRELESS NETWORKS DATA RATE ESTIMATION

Fazylov L., Aminova R.

Scientific supervisor: E. Spirina,
Candidate of technical Sciences, associate professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

The paper analyzes the applicability of the guaranteed data rate estimation method for outdoor fixed wideband radio access networks and determining parameters for indoor WI-FI networks. Based on the analysis results, it is concluded that this method can be applied with its parameters correction for indoor WI-FI with signal level at the input of the receiving device less than -60 dBm and the need for its improvement at high signal levels.

УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НЕФТЕНОСНЫХ ПЛАСТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Хафизов И.И., Гимадеева Л.А.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева, Казань)*

В статье рассмотрен метод измерения диэлектрической проницаемости основанный на применении высокочастотных электромагнитных полей, не требующий прямого контакта электродов с буровым раствором. Выбран автогенераторный метод измерения на частоте 30 МГц, позволяющий определить нефтенасыщенные пласты земной коры.

Основной целью геологического исследования скважин является повышение эффективности, улучшения точности и достоверности геофизической информации, получаемой в результате геофизических исследований в скважинах.

Существует достаточное количество способов измерения диэлектрической проницаемости: электрический каротаж, радиоактивный каротаж, акустический каротаж, диэлектрический каротаж. В устройстве измерения диэлектрической проницаемости нефтеносных пластов земной коры применяется метод измерения диэлектрической проницаемости основанный на применении высокочастотных электромагнитных полей и не требует прямого контакта электродов с буровым раствором. Частота излучения в основном выбирается в пределах от 10 МГц до 60 МГц, но может быть и выше.

Этот каротаж основан на возможности различать пласты по их диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая проницаемость ε определяет способность вещества поляризоваться в диэлектрическом поле: $\varepsilon = \varepsilon_B \cdot \varepsilon_0$, где ε_0 – относительная диэлектрическая проницаемость, ε_B – диэлектрическая проницаемость вакуума. В таблице 1 показана диэлектрическая проницаемость некоторых минералов и полезных ископаемых, а так же значения диэлектрической проницаемости образцов песчаника при частоте поля 1-30 МГц.

*ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОМ-
МУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ*

Таблица 1

№ п./п.	Материал	ε , отн. ед.
1.	Песчаник, насыщенный на 100 % дистиллированной водой (д. в.)	30
2.	Песчаник, насыщенный на 50 % д. в. и на 50 % нефтью (н.)	8.5-20
3.	Песчаник, насыщенный на 75 % д. в. и на 25 % нефтью (н.)	7.8-9
4.	Песчаник, насыщенный на 25 % мин. в. (0.3Н) и на 70 % нефтью (н.)	10
5.	Песчаник, насыщенный на 100 % нефтью	6-6.6
6.	Нефть	2-2.7

Так как диэлектрическая проницаемость воды равна 80 отн. ед., а нефти $\approx 2,5$ отн. ед., то водо- и нефтенасыщенные породы заметно различаются, и это различие сохраняется при слабой минерализации воды. Малая минерализация пластовой воды может явиться следствием закачки пресной воды в продуктивные горизонты (Татарстан, Мангышлак и др. районы) или быть свойственной определённому региону (восточное обрамление Западно-Сибирской низменности и др.)

При нормальной минерализации воды нефте- и водонасыщенные породы ещё различимы по удельному сопротивлению, но при слабой минерализации воды они становятся практически неразличимы, а именно эти пласты представляют особый практический интерес, поэтому целесообразно измерять диэлектрическую проницаемость.

В переменном электрическом поле с увеличением частоты ν начинают запаздывать сначала наиболее медленные, а затем другие виды поляризации. Это приводит к изменению диэлектрической проницаемости (к дисперсии ε).

Общий вид зависимости $\varepsilon(\nu)$ показан на рисунке 1.

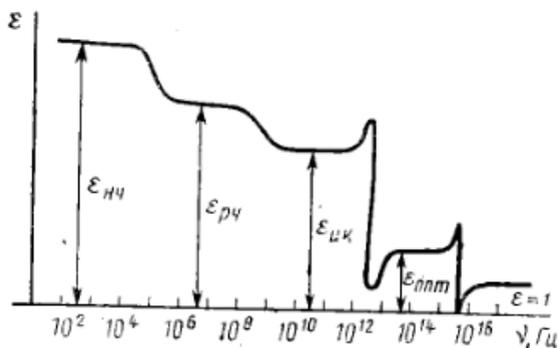


Рис. 1. Зависимость ϵ от частоты ν

В области низких частот вклад в $\epsilon_{нч}$ вносят все виды поляризации, однако при $\nu \sim (10^4-10^5)$ Гц начинают «выключаться» различные виды объемно-зарядной поляризации, связанной с движением и накоплением на границах раздела неоднородного диэлектрика заряженных частиц (электронов, ионов). В диапазоне радиочастот 10^4-10^{11} Гц перестают вносить вклад в $\epsilon_{рч}$ тепловые механизмы поляризации (электронная, ионная и дипольная).

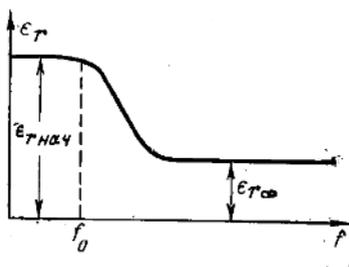


Рис. 2. Зависимость относительной диэлектрической проницаемости полярной жидкости от частоты.

Из рисунка 2 видно, что диэлектрическая проницаемость полярного диэлектрика зависит и от частоты. При больших частотах температурный максимум диэлектрической проницаемости сдвигается в область более высокой температуры, причем максимум сни-

жается.

Существует следующая зависимость между суммарным набегом фазы в кольце обратной связи и относительным изменением частоты АГ:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta \varphi}{2Q_H},$$

где $\Delta \varphi$ – суммарный набег фазы в кольце обратной связи, Q_H – добротность нагруженного контура.

Волна, излученная передающей катушкой в скважину будет приходить на приёмную катушку с фазовым сдвигом, который определяется диэлектрической проницаемостью скважины. Волна, поступившая на колебательную систему АГ будет вызывать набег фазы в кольце обратной связи, что в свою очередь приведёт к перестройке ε по частоте АГ.

С помощью генераторной катушки в скважине возбуждается ВЧ электромагнитное поле. Волна, распространённая от источника, частично отражается от стенок скважины, а частично проникает во вмещающие породы.

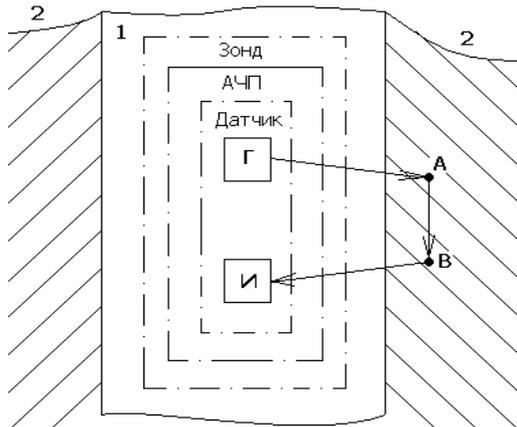


Рис. 3. Механизм распространения ВЧ электромагнитных колебаний в скважине:

АЧП – аналого-частотный преобразователь, Г – генераторная катушка, И – измерительная катушка, 1 – скважина, 2 – земная кора

В результате анализа трёхточечной схемы автогенератора получаем зависимость изменения частоты от диэлектрической проницаемости:

$$\Delta f(\varepsilon) = \frac{\Delta\varphi(\varepsilon)f}{2Q_H}.$$

Представим зависимость $\Delta f(\varepsilon)$ на рисунке 4.

Как видно из графика, максимальное изменение частоты $\Delta f_{\varepsilon_{MAX}} = 40\text{кГц}$.

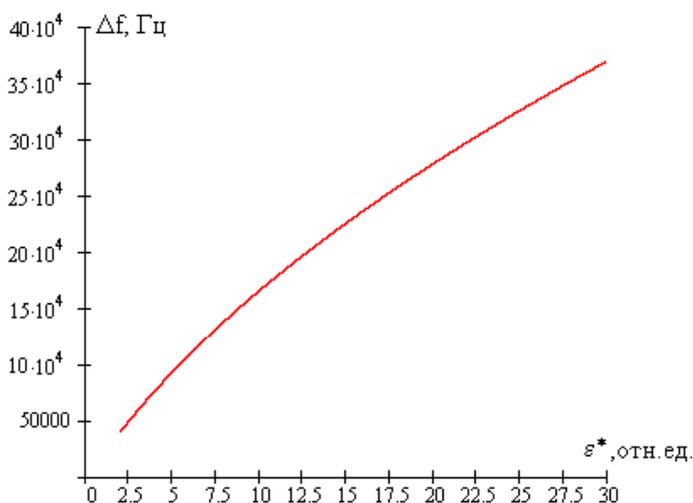


Рис. 4. Зависимость изменения рабочей частоты АГ от диэлектрической проницаемости изучаемой скважины

Из рисунка 4 следует, что предлагаемый автогенераторный метод измерения позволяет определить относительную диэлектрическую проницаемость ε от 2,5 до 30, соответствующих нефти и воде.

Список литературы

1. Антонов Ю.Н., Кауфман А.А. Диэлектрический индуктивный каротаж. Новосибирск: Наука, 1971. – 170 с.

2. *Давев Д.С.* Высокочастотные электромагнитные методы исследования скважин. М.: Недра, 1974. – 190 с.

3. *Ариш Э.И.* Автогенераторные методы и средства измерений – М.: Машиностроение, 1979. – 256 с.

**DEVICE FOR MEASURING DIELECTRIC PERMEABILITY
OF OIL BEARING STRATA OF THE EARTH'S CRUST**

Hafizov I., Gimadeeva L.

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

In the article the method of measurement of dielectric permeability based on the use of high-frequency electromagnetic fields that do not require direct contact of the electrodes with the drilling fluid. Self selected method of measurement frequency of 30 MHz that allows to identify oil-saturated strata of the earth's crust.

УДК 528.629

К ВЫБОРУ МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ ПЕРЕДАТЧИКА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ГЛОНАСС

Хисматуллина Н.С., Шилов Н.С.

Научный руководитель: М.П. Данилаев,
докт. техн. наук, профессор, Н.В. Дорогов, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

При разработке радиопередающего устройства системы ГЛОНАСС для обеспечения стабильности несущей частоты используются различные методы. В данной работе рассмотрены две схемы: схема с АПЧ и интерполяционным методом формирования несущей частоты. Для выбора схемы обеспечения стабильности частоты была составлена таблица принятия решений, с помощью которой выбрана наиболее целесообразная схема обеспечения стабильности несущей частоты.

Космическая навигационная система ГЛОНАСС предназначена для формирования непрерывного поля навигационных сигналов, с помощью которых возможно высокоточное определение координат и скорости движения объектов, оснащенных специальными приемниками. Высокая точность определения системой ГЛОНАСС координат и скорости движения объектов, оснащенных специальными приемниками, определяется в основном стабильностью радиопередающего устройства, который непрерывно посылает навигационные сигналы. При строгом соблюдении частоты сигнала, присвоенному передатчику, прием передаваемых сигналов настроенным приемником происходит тотчас после включения без подстроек. Такой результат представляет удобство эксплуатации, высокую надежность радиосвязи, а также облегчает автоматизацию оборудования. Кроме того, если частота передатчика отличается от разрешенного значения, то она может «конфликтовать» с частотой другого передатчика, что вызовет помехи приему его сигналов.

Целью данной работы является выбор метода обеспечения

*ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОМ-
МУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ*

стабильности частоты $\sim 10^{-5}$ передатчика спутниковой связи.

Одним из узлов (трактов) передающего устройства спутниковой связи, от которого в большей степени зависит стабильность всей передающей системы, является кварцевый генератор, формирующий несущие колебания. Для обеспечения стабильности частоты $\sim 10^{-5}$ в таких генераторах могут быть применены 2 метода:

- Использование системы автоматической подстройки частоты (АПЧ).
- Использование интерполяционного метода формирования несущей частоты.

Для выбора метода обеспечения стабильности частоты была составлена таблица принятия решений (табл. 1).

Таблица 1

Условие	АПЧ	Интерполяционный метод формирования несущей частоты
Возможность самовозбуждения	Есть	Нет
Необходимость запаса по устойчивости	Есть	Нет
Возможность создания унифицированного узла	Нет	Есть
Необходимость индивидуальной настройки модулятора при разных рабочих частотах передатчика	Есть	Нет

Как видно из таблицы, при разработке передающего устройства целесообразнее применять интерполяционный метод формирования несущей частоты, поскольку устройство АПЧ является схемой с обратной связью, то в ней подобно автогенератору могут возникнуть собственные автоколебания, если будут выполнены условия баланса амплитуд и фаз. Такой режим работы является недопустимым в устройстве АПЧ, которое должно отслеживать изменения частоты входных сигналов, а не создавать собственные автоколебания. Более того, следует иметь определенный запас по устойчивости.

Учитывая вышеперечисленные недостатки АПЧ, при разра-

ботке радиопередающего устройства системы ГЛОНАСС целесообразнее использовать интерполяционный метод формирования несущей частоты.

Интерполяционный метод формирования несущей частоты состоит в смешивании частот двух генераторов и выделении в качестве рабочей одной из комбинационных составляющих. Таким образом, нестабильность частоты определяется нестабильностями генераторов несущих частот.

Список литературы

1. *А.К. Синякин, А.В. Кошелев.* Физические принципы работы GPS/GLONASS, М.:СГГА, Новосибирск, 2009.
2. Глобальная спутниковая навигационная система ГЛОНАСС. / Под ред. Харисова В.Н., Перова А.И., Болдина В.А. М.: ИПРЖР, 1999.
3. *Шахгильдян В.В., Ляховкин А.А., Карякин В.Л.* и др. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации. / Под ред. В.В. Шахгильдяна. 2-е изд., доп. и пер.. М.: Радио и связь, 1989. 320 с.

TO THE SELECTION OF THE METHOD FOR PROVIDING THE STABILITY OF THE FREQUENCY OF THE GLONASS SATELLITE TRANSMITTER

Khismatullina N., Shilov N.

Supervisor: M. Danilaev,

doctor of technical sciences, professor, N. Dorogov, docent

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

When developing a GLONASS radio transmitter, various methods are used to ensure carrier frequency stability. In this paper, two schemes are considered: a scheme with an AFC and an interpolation method for generating the carrier frequency. To select the frequency stability scheme, a decision table was composed, with the help of which the most suitable scheme for ensuring the stability of the carrier frequency was selected.

УДК 621.372.812

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВЧ-УСТРОЙСТВ

Хохлов Д.К.

Научный руководитель: А.Ф. Аглиуллин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной работе, описывается программно-аппаратный комплекс для определения СВЧ-характеристик: Виды комплексов их преимущества и недостатки, описание разработанного комплекса.

В настоящее время существуют различные виды анализаторов цепей для исследования характеристик СВЧ устройств. В основном они делятся на две разновидности: аппаратные и программно-аппаратные. Среди плюсов аппаратных анализаторов цепей можно отметить высокую точность, многофункциональность и большое количество настроек, что обеспечивает гибкость при просмотре и анализе данных измерений. У программных комплексов к достоинствам можно отнести компактность и увеличение функционала, за счет возможности обновления программы управления комплекса. У обоих видов измерителей есть минус это их цена, из-за чего они мало подходят для малых (студенческих) научно-исследовательских лабораторий.



Рис. 1. Аппаратный комплекс (слева),
программно-аппаратный комплекс (справа)

Предлагаемый комплекс реализован в первую очередь для решения последней проблемы. Также целью создания измерительного комплекса являлось обеспечение универсальным аппаратом математической обработки данных измерений. Комплекс реализован как программно-аппаратный подтип.

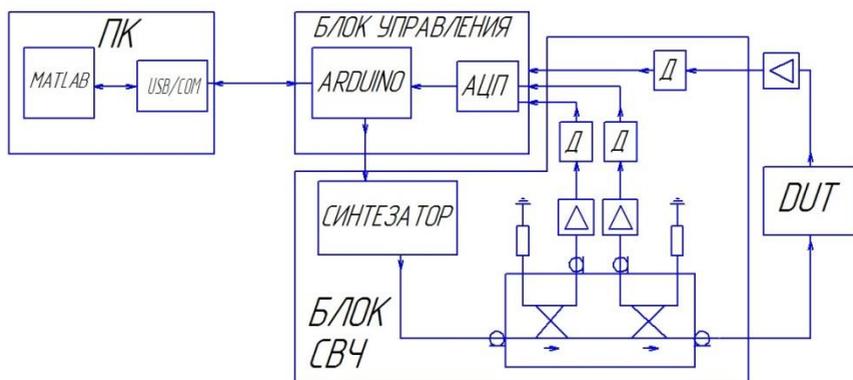


Рис. 2. Функциональная схема комплекса

Он состоит из трех основных блоков: ПК, блока управления и СВЧ блока. ПК блок состоит из MATLAB как программа для управления и отображения и обработки полученных данных, передача данных происходит через виртуальный com-port. Блок управления включает в себя Arduino и АЦП(ADS1115). Arduino контролирует работу синтезатора частоты, принимает оцифрованный сигнал с АЦП. АЦП имеет разрядность в 12 бит и Arduino имеет встроенную библиотеку работы сданной микросхемой, что выгодно отличает его среди остальных цифровых преобразователей. Блок СВЧ состоит из синтезатора частоты(ADF4350), детектора(AD8362), направленных ответвителей с согласованной нагрузкой, усилителя(MGA53543). Преимущества данного синтезатора частоты это: встроенное ядро ГУН с диапазоном частот от 2200 до 4400МГц, встроенный синтезатор ФАП с дробно переменным коэффициентом деления, также имеется два дифференциальных выходных канала. Гибкость и универсальность разработанного

анализатора позволяет одновременно реализовать измерение параметров рассеяния СВЧ устройств, выступать в качестве перестраиваемого генератора, амплитудного и фазового детектора.

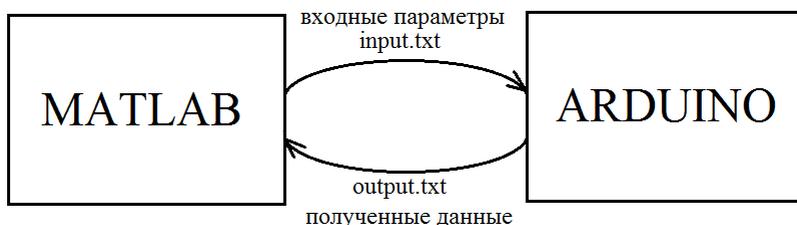


Рис. 3. Принцип сообщения MATLAB и Arduino

MATLAB в связке с Arduino работают стабильно. Такой способ передачи удобен тем, что можно отслеживать какая информация передается и возможность анализировать ее дальше не только в MATLAB. Сам же MATLAB был выбран потому что данный пакет программ является сильным математическим пакетом и обладает большим функционалом в сфере обработки сигнала.

Разработанный анализатор цепи, на данный момент работает как скалярный анализатор цепи, то есть измеряет только амплитуду. Преимущество получившейся установки заключается в модульности, для улучшения тех или иных измеряемых характеристик можно менять любой из модулей. Например: для увеличения точности измерения можно заменить АЦП на другой с большей разрядностью, с меньшими шумами. Заменить направленные ответвители для увеличения или уменьшения полосы частот. В дальнейшем разработанный анализатор цепи планируется перекалифицировать в векторный анализатор цепи.

Список литературы

1. AgilentTechnologies. Анализаторы цепей. Руководство по выбору, 2007. – 32 С.
2. *Михаэль Х.* Основы векторного анализа цепей / *Михаэль Хибель* – пер с англ. С.М. Смогольского; под ред У. Филип – М.: Издательский дом МЭИ, 2009б-500 стр

3. Разработка графического пользовательского интерфейса в среде MATLAB / И.Б. Бадриев, В.В. Бандерво, О.А. Задворнов. – Казань: Казанский государственный университет, 2010. – 113 с.

**SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX
FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS
OF MICROWAVE DEVICES**

Khokhlov D.

Supervisor: A. Agliullin, PhD, Associate professor
(*Kazan National Research Technical University
named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan*)

In this paper, we describe a software-hardware complex for determining the microwave characteristics: types of complexes their advantages and disadvantages, description of the developed complex.

УДК 681.322 + 621.37

ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМЫ АВТОСИГНАЛИЗАЦИИ

Шурков А.А.

Научный руководитель: Д.П. Данилаев, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В докладе рассмотрен радиотехнический способ повышения эффективности автомобильных сигнализаций и охраны автомобилей.

Кодграбберы или сканеры (приборы, способные перехватить сигнал между брелком и сигнализацией) появились ещё в прошлом веке, практически одновременно с первыми электронными охранными системами. Кодграбберы изначально предназначены для проверки сигнализаций в специализированном СТО. К примеру, подобное устройство могли применять автомеханики, страховые агенты и люди, чей вид деятельности связан с защитой автомобилей, однако, со временем ему нашли применение злоумышленники. Кодграбберы применяются практически для всех типов сигнализаций бывают двух видов: кодоподменные и алгоритмические [9].

Сначала появились устройства с замещением сигнала для вскрытия однокнопочных охранных систем, где постановка и снятие с сигнализации осуществляется всего одной клавишей на брелоке. Устройство глушит сигнал с пульта, и пока владелец разбирается, почему сигнализация не работает, происходит запись команд с его брелока [8].

Спустя некоторое время производители отреагировали выпуском двухкнопочных систем, в которых постановка и снятие с охраны производится разными клавишами. Принцип работы остался прежним лишь с той разницей, что для считывания сигнала стало требоваться больше времени. Тут же был выпущен кодграббер, который также блокировал сигнал с брелока, и пока клиент нажимал все клавиши подряд, пытаясь понять, почему сигнализация не работает, считывал необходимые данные.

Подобный вид считывания кодов был достаточно неудобен для угонщиков, так как быстро себя выдает. Внимательный водитель может обратить внимание на неадекватную реакцию или несрабатывание охранной системы. Поэтому сейчас активно используются алгоритмические кодграбберы. Они не глушат работу брелока, а считывают всю информацию, передающуюся в эфире.

Рассмотрим некоторые методы защиты.

Диалогового кодирования [7]).

Как понятно из названия, шифрование этого типа ведется в режиме диалога между брелоком и блоком управления автосигнализацией, расположенном в автомобиле. Когда вы нажимаете на кнопку, с брелока подается запрос на выполнения команды. Чтобы блок управления удостоверился, что команда поступила именно с брелока владельца, он посылает на брелок сигнал со случайным числом. Это число обрабатывается по определенному алгоритму и отсылается обратно на блок управления. В это время блок управления обрабатывает то самое число и сравнивает свой результат с результатом, присланным брелоком. При совпадении значений, блок управления выполняет команду.

Перехватить и расшифровать пакет данных диалоговой автосигнализации практически невозможно. Для кодирования сигнала используются так называемые хэш-функции – алгоритмы, которые преобразовывают строки произвольной длины. Результат такого шифрования может содержать до 32 букв и цифр.

Плюсы метода:

- 1) Наиболее надежное на данный момент времени
- 2) Уникальные алгоритмы изменения кода

Минусы метода:

- 1) Происходит “утечка” алгоритмов шифрования с завода изготовителя.
- 2) Придуманы методы взлома, нет уверенных гарантий защищенности.

Метод кодирования-Динамический код [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

В основе технологии лежит понятие секретных кодирующих / декодирующих ключей (шифров), которые преобразуют исходную информацию в кодированную и кодированные данные в

исходные.

Серийный номер уникальный номер каждого кодера (брелока-передатчика) из 28 или 32 бит. Формируется при изготовлении кодера и передается в некодированном виде в постоянной части посылки.

Каждый кодер характеризуется набором из четырех величин, описанных выше: кодирующего ключа, счетчика синхронизации, дискриминатора и серийного номера. Поскольку значения всех этих величин различны для разных кодеров, то декодер должен хранить в памяти столько наборов, сколько кодеров использует система (обычно не более 6 8).

Ключ изготовителя 64-битовая комбинация, используемая для образования кодирующего ключа и обеспечивающая разделения всего кодового пространства посылок между разными изготовителями. Ключ изготовителя также записывается в память декодирующего устройства. Естественно, для работы со всеми кодерами системы, произведенными одним изготовителем, достаточно запоминания одного ключа изготовителя.

Для того, чтобы сигнализация могла опознать "свои" брелки, в кодовой посылке брелка и памяти декодера сигнализации содержатся одинаковые коды-идентификаторы, которые запоминаются сигнализацией при программировании ("обучении") брелков. Код - идентификатор каждого брелка уникален и, чаще всего, записывается в кодер брелка при изготовлении.

Плюсы метода:

- 1) Пакет меняется при каждой отправке
- 2) Уникальные Коды-идентификаторы

Минусы метода:

- 1) Происходит "утечка" ключей шифрования с завода изготовителя.
- 2) Придуманы методы взлома, нет уверенных гарантий защищенности.

Метод дополнительных каналов.

Сигнализация имеет дополнительные свободные каналы управления внешними устройствами [4] – открытие багажника, закрытие стекла, прогрев двигателя и т.д. Использование этих каналов позволяет разрывать одну или две цепи (стартера, системы за-

жигание, подачи топлива, блокировка кпп и т.п.) автомобиля [1]).

Плюс метода:

При взломе штатной сигнализации дополнительный рубеж защиты от угона.

Минус метода:

При активной блокировке в обесточенном состоянии разрешается запуск двигателя.

Анализ различных известных способов повышения эффективности автомобильных сигнализаций и охраны автомобилей радиотехническими средствами позволяет отметить, что методы кодирования, такие как диалоговое кодирование и динамический код требуют вмешательства в штатное оборудование автомобильных сигнализаций. Поскольку радиотехническое оборудование автомобильных сигнализаций от разных производителей отличается, как аппаратной реализацией (элементной базой и схемами), так и программной реализацией (алгоритмами работы и программой микроконтроллера), то данный подход не может считаться универсальным. Для каждой марки автомобиля и типа сигнализации потребуется отдельное техническое решение. Поэтому данный подход представляется достаточно сложным для его технической реализации и мы исключаем его из дальнейшего рассмотрения.

На основе проведенного исследования мы также приходим к выводу, что штатные иммобилайзеры не обеспечивают достаточную защиту от запуска двигателя автомобиля, и тем более не решают задачи контроля доступа к автомобилю (например, открытия дверей или багажника).

Таким образом, можно утверждать, что нет универсального метода, защищающего автомобиль от угона.

Теоретический анализ литературы позволяет выделить перспективное направление разработки:

Установка дополнительно независимых от штатной сигнализации приемника и передатчика, разрывающих одну или две цепи (стартера, системы зажигания, подачи топлива, блокировка кпп и т.п.) автомобиля.

Плюсы данного предложения:

1) Злоумышленники не знают о существовании дополнительного стороннего канала и рабочие частоты.

2) Простота работы и обслуживания системы для пользователя.

Минус: ограничение на размер передатчика для установки в стандартный брелок.

Список литературы

1) *С. Топчий* Устойчивость охранных устройств к взлому. // журнал “Наука и Техника” 1998 г.

2) *Андреианов В.И. Соколов А.В.* Охранные устройства для автомобилей: справочное пособие-1997.

3) *С.Л. Корякин-Черняк.* Автосигнализации от А до Z. справочное пособие 2005 г.

4) *Андреианов В.И. Соколов А.В.* Автомобильные сигнализации справочное пособие – 2000 г.

5) *Р. Галимов* Как угоняют почти 80 % автомобилей в России // журнал “CarClub” 2014 г.

6) *А. Борисов* Азбука Установщика // учебник для установщиков сигнализации 2012 г.

7) Принципы работы иммобилайзера [Электронный ресурс] // [сайт]. Режим доступа <https://mitsu-motors.ru/princip-raboty-immobilajzera/> (дата обращения: 06.03.2017).

8) Диалоговое или динамическое кодирование [Электронный ресурс] // Защита Автомобиля: [сайт]. Режим доступа: <http://ugonavto.net/vubor/dialogovoe-ili-dinamicheskoe-kodirovanie-v-signaliziyax-chto-luchshe.html> (дата обращения: 06.03.2017).

9) Краткая история кодграбберов [Электронный ресурс] // [сайт]. Режим доступа <http://autoelektronika.ru/?page=articles&id=43> (дата обращения: 06.03.2017).

10) Алгоритмический кодграббер и диалоговый код [Электронный ресурс] // [сайт]. Режим доступа <https://www.drive2.ru/b/1619320/> (дата обращения: 06.03.2017).

11) Кодграббер и законодательство [Электронный ресурс] // [сайт]. Режим доступа <http://kodgraber.net/kak-kupit> (дата обращения: 06.03.2017).

12) Преимущества и недостатки противоугонных систем. [Электронный ресурс] // [сайт]. Режим доступа <http://news.avto-catalog.com/articles/poleznaya-informaciya/preimushhestva-i->

nedostatki-razlichnykh-protivougonnnykh-sistem.html (дата обращения:
06.03.2017).

**INCREASE OF THE PROTECTION
OF THE AUTO-SIGNALIZATION SYSTEM**

Shurkov A.

Supervisor: D. Danilaev, Cand. Sci. (Technical), Assoc. prof.

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

The report considers the radio-technical method of increasing the efficiency of car alarms and car protection.

УДК 519.6

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛОВ СИСТЕМЫ СВЯЗИ
С ХАОТИЧЕСКОЙ МАСКИРОВКОЙ НА ОСНОВЕ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ
С ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКОЙ**

Ясир Х.А.

Научный руководитель: В.В. Афанасьев,
докт. техн. наук, профессор

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Рассмотрено моделирование формирователей псевдослучайных сигналов для систем передачи информации с хаотической маскировкой. Получена оценка влияния параметров узлов системы связи на точностные характеристики передачи сигнала в системах с хаотической маскировкой.

В основе исследуемой системы связи с хаотической маскировкой лежит формирование на основе эффектов динамического хаоса шумоподобных сигналов повторяющимися вероятностными и статистическими характеристиками [1, 2]. Вид формируемых псевдослучайных сигналов хаотической маскировки полностью определяется параметрами порождающей нелинейной динамической системы и ее начальными условиями [3, 4]. Эффективными источниками псевдослучайных маскирующих сигналов являются радиоэлектронные управляемые нелинейные системы с хаотической динамикой. Обоснование и выработка инженерных рекомендаций по выбору параметров и характеристик систем передачи информации с хаотической маскировкой сигналов, на основе использования динамического хаоса, требует разработки и исследования адекватных моделей узлов системы связи с хаотической маскировкой [5].

Цель работы состоит в разработке и исследовании моделей основных узлов системы связи с формированием сигналов хаотической маскировки при помощи радиоэлектронных управляемых нелинейных систем с динамическим хаосом.

Хаотическое маскирование основано на добавление информационного сигнала $s(t)$ к хаотическому несущему сигналу при пе-

редаче информации, с последующим вычитанием маскирующего сигнала при приеме [1]. На основе проведенного аналитического обзора обоснован выбор нелинейной динамической системы Лоренца с динамическим хаосом в качестве системы, порождающей маскирующие сигналы.

В работе определены условия обеспечения синхронизации исходной и зависимой систем Лоренца за требуемый интервал времени. Для определения набора начальных условий динамических систем, порождающих маскирующие сигналы, и рекомендуемых к применению в инженерной практике, проведено моделирование процессов формирования псевдослучайных сигналов в среде MatLab, обоснованы рекомендации по выбору массива данных, определяющих возможные наборы начальных условий трех переменных системы Лоренца, минимизирующих переходные процессы в системе.

Проведено исследование влияния выбора параметров b , g и σ нелинейной динамической системы Лоренца на маскирующий хаотический сигнал. Показано, что имеется определенный рабочий диапазон параметров, при которых система функционирует должным образом. При выборе параметров вне рабочего диапазона, маскирующий хаотический сигнал не формируется и сообщение передается незашифрованным или частично зашифрованным и оказывается уязвимым с точки зрения информационной безопасности. В разработанной модели параметры σ , g и b нелинейной динамической системы Лоренца задаются блоками Gain ($\sigma=10$), Constant ($g=28$) и Gain3 ($b=2,67$), соответственно.

Начальные параметры x_0 , y_0 и z_0 порождающей системы Лоренца, используемые в интеграторах Integrator, Integrator1 и Integrator2, выбираются случайным образом из числовых массивов, которые хранятся в блоках Constant2-4. Номер ячейки задается генератором случайных чисел Random Integer Generator и изменяется через задаваемый интервал времени. Блоки Matlab Function производят выбор из массива начальных значений соответствующую ячейку с номером “u+1” из массива, задаваемого входным параметром “t”, и передают ее в качестве начального параметра в систему Лоренца.

Для симуляции передаваемого сигнала используется бинар-

ный генератор Бернулли (Bernoulli Binary Generator), на выходе которого случайным образом в соответствии с распределением Бернулли формируется набор из 128 битов передаваемой информации. В модели предусмотрено возможность вариации скорости передачи информации по каналу связи, и изменения вероятностных характеристик сигнала. Для наложения на информационный сигнал хаотической маскировки, суммируется сигнал с выхода X системы Лоренца, с сигналом на выходе бинарного генератора Бернулли с помощью блока Add. Амплитуда маскирующего сигнала выбирается много больше амплитуды сигнала информационного сообщения для обеспечения полного маскирования информационного сигнала. Это затрудняет расшифровку сообщения и отвечает требованию обеспечения безопасности передаваемой информации по каналу связи.

После прохождения сигнала через радиоканал с помехами необходимо избавиться от сигнала хаотической маскировки и выделить информационный сигнал. Для этого из принимаемого сигнала вычитают сигнал с выхода системы Лоренца на приемной стороне, идентичной системе, порождающей маскирующие сигналы в передающем тракте системы связи. Вычитание маскирующего сигнала производится в блоке Add1(+/-). Следует отметить, что воздействие шумов изменяет форму передаваемого сигнала, поэтому после вычитания формируемый сигнал отличается от сигнала с выхода бинарного генератора Бернулли. Для приведения принятого сигнала к бинарному виду, сигнал после вычитания хаотической маскировки передается на вход блока Relay, который интерпретирует все сигналы с уровнем напряжения ниже 0,5 В как логический «0», а сигналы с уровнем выше 0,5 В как логическую «1». Сформированный таким образом сигнал направляется получателю в качестве принятого информационного сообщения.

Увеличения скорости передачи сообщений можно достичь также путем повышения пропускной способности линии передачи с помощью одновременной передачи сообщений по нескольким каналам, то есть с использованием многоканальной системы связи. Для используемой модели Matlab Simulink (R2017a) это будет соответствовать формированию на выходе бинарного генератора Бернулли вектора-матрицы из N -элементов вместо последователь-

ности из одиночных битов, где N будет соответствовать числу каналов в модели многоканальной системы передачи информации с хаотической маскировкой. Количество элементов матрицы на выходе бинарного генератора Бернулли задается параметром Samples per frame. Соответственно и на выходе системы Лоренца хаотический сигнал должен формироваться в виде матрицы, что достигается путем ввода в модель начальных условий в матричном виде. Аналогично, для того, чтобы убедиться, что увеличение числа каналов в цифровой системе с хаотической маскировкой не ухудшает качества передачи сообщения, проведем моделирование работы системы при различных соотношениях сигнал/шум и для разного числа N . Результаты моделирования представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Зависимости уровня ошибок от соотношения
 сигнал/шум для различного числа N**

Соотношение сигнал/шум, дБ	Уровень ошибок в блоке расчета количества ошибочно переданных битов			
	N=1	N=2	N=4	N=8
20	0,0068	0,0068	0,0068	0,0068
15	0,016	0,016	0,023	0,016
10	0,057	0,078	0,078	0,047
5	0,172	0,156	0,156	0,133
1	0,297	0,289	0,25	0,219

Результаты моделирования показали, моделируемая система связи с формированием сигналов хаотической маскировки при помощи радиоэлектронных управляемых нелинейных систем с динамическим хаосом обладает достаточно хорошей помехоустойчивостью. Так, вероятность ошибочно принятого бита составляет менее 1 % при отношении сигнал/шум не менее 0,05. В цифровой системе передачи информации с хаотической маскировкой помехозащищенность не ухудшается при увеличении числа каналов передачи цифровой информации. Более того, наблюдается даже небольшое уменьшение уровня ошибок при малых соотношениях сигнал/шум. Следовательно, увеличение числа каналов передачи информации в цифровой системе передачи информации с хаотической маскировкой является эффективным способом увеличения

скорости передачи информации вследствие одновременной ее передачи по нескольким каналам.

Таким образом, разработанные модели основных узлов системы связи с хаотической маскировкой сигналов дают возможность проводить исследование и оптимизацию параметров системы конфиденциальной связи с формированием сигналов хаотической маскировки при помощи радиоэлектронных управляемых нелинейных систем Лоренца с динамическим хаосом.

Список литературы

1. *Дмитриев А.С., Панас А.И.* Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи. М.: Физмалит, 2002. – 252 с.
2. *Афанасьев В.В., Логинов С.С.* Многомерные негармонические спектры в диагностике управляемых формирователей псевдослучайных сигналов на основе систем с динамическим хаосом. // Инфокоммуникационные технологии. 2013. Т. 12. № 2. С. 9–13.
3. *Афанасьев В.В., Логинов С.С.* Импульсные случайные процессы в анализе и диагностике нелинейных систем с динамическим хаосом. // Радиотехника и электроника. 2013. Т. 58. № 4. С. 382–388.
4. *Афанасьев В.В., Логинов С.С., Польский Ю.Е.* Формирователи двоичных псевдослучайных сигналов на основе управляемых систем Лоренца и Чуа. // Телекоммуникации. 2012. N 12. С. 26–30.
5. *Ясир Х.А.,* Научный рук. Афанасьев В.В. Особенности оптических систем связи с хаотической маскировкой сигналов / Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2017. Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2017. – С. 380–383.

SIMULATION OF NODES OF THE SYSTEM OF COMMUNICATION WITH CHAOTIC MASKING BASED ON RADIOELECTRONIC SYSTEMS WITH CHAOTIC DYNAMICS

Hussein Yasir

Supervisor: V. Afanasiev, Doctor of Engineering Sciences, professor
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*

The simulating of pseudorandom signal drivers for information transmission systems with chaotic masking is considered. An estimation is made of the effect of the parameters of the nodes of the communication system on the accuracy characteristics of signal transmission in systems with chaotic masking are obtained.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2
ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ,
МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ
УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

УДК 621.37

**ПРОЕКТ СФОКУСИРОВАННОГО
БЕСПРОВОДНОГО УСТРОЙСТВА.
ЧАСТЬ 1. ПРИНЦИП ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КООРДИНАТ УСТРОЙСТВА**

Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И., Юлушева А.И.

Научный руководитель: Д.А. Веденькин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Предложен метод определения местоположения пользователя внутри помещения с использованием инфраструктуры локальных беспроводных сетей (WLAN) семейства Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11). Для решения задачи позиционирования, используется метод трилатерации и расстояние между точками доступа и антенной пользователя. Показано, что данный метод позиционирования более простой и обеспечивает более высокую точность, чем другие решения данной задачи.

Для реализации беспроводной зарядки были выделены три задачи. Во-первых, необходимость определения координат в замкнутом пространстве, так как нужно обеспечить работу в помещении. Во-вторых, фокусировка электромагнитного излучения в заданную точку пространства, с помощью которой должна поступать необходимая энергия для зарядки мобильного устройства. В-третьих, разработка планарной антенны для реализации беспроводного зарядного устройства. Активно обсуждались принципы фокусировки в рамках третьей МНТК ПРЭФЖС-2016 [1]. Свойства сфокусированной антенной решетки рассмотрены в [2–6]. Технические приложения с применением сфокусированной антенной решетки рассмотрены в работах [7–10]. В настоящее время ведутся работы над применением широкополосных сигналов в задачах фокусировки излучения, некоторые результаты представлены в [11–12].

На данный момент все большее значение приобретает информация о местонахождении того или иного объекта. Например, в

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

перспективных системах беспроводной передачи данных подобная информация позволяет значительно повысить качество и расширить перечень услуг, предоставляемых пользователям. Широкое применение нашли системы глобального позиционирования GPS и ГЛОНАСС, которые обеспечивают точность позиционирования 5–10 м практически в любой точке земного шара. Однако такая высокая точность достигается в условиях открытой местности. Внутри зданий точность определения местоположения значительно ухудшается, что связано, в первую очередь, с многолучевым характером распространения сигналов внутри помещений.

Поиск объекта будет осуществляться путём построения на местности системы смежных треугольников, в которых измеряются длины их сторон, то есть по принципу трилатерации.

Для того чтобы определить координаты точки на местности, необходимо знать координаты не менее трех точек, а также расстояния до них. Далее, используя систему уравнений для трех сфер, можно найти точку их пересечения, которая и будет соответствовать искомой точке:

$$\begin{cases} R_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \\ R_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2, \\ R_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 \end{cases}$$

$x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3, z_1, z_2, z_3$ – координаты точки доступа, R_1, R_2, R_3 – расстояния от излучателя до устройства.

Расстояния до устройства от точек доступа могут быть определены с помощью точного измерения времени прибытия сигнала, отраженного или излученного пеленгуемым устройством. Для реализации данного метода необходимо чтобы источники и приемники сигнала были очень точно синхронизированы по времени, так, например, работают спутниковые системы навигации (СНС), синхронизируемые атомными эталонами времени. Зная скорость и точное время распространения сигнала можно вычислить искомое расстояние.

Пересечение минимум трех окружностей, радиусом которых является время пути сигнала, дает точное положение объекта в

двухмерном пространстве. При добавлении четвертого передатчика, можно либо уточнить, либо определить координаты искомой точки в трехмерном пространстве [14].

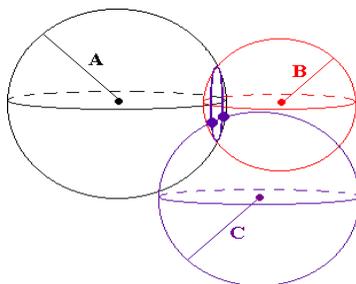


Рис. 1. Принцип работы метода времени прибытия сигнала

Главное требование заключается в необходимости обеспечения прямой видимости между антеннами. Прямая видимость между точками нужна в первую очередь для измерения длины пути сигнала (посредством подсчета временной задержки. При использовании Wi-Fi сетей в помещении мы всегда имеем дело с переотражениями. Более того, все основные технологии стандартов IEEE 802.11n, 802.11ac (MIMO, MRC, BF) используют в своей основе именно этот эффект, без которого работают хуже [13].

Так же у разработанного метода на основе трилатерации было выявлено следующее ограничение: четыре излучателя должны создавать две плоскости. Их формируют две тройки излучателей, которые, в свою очередь, не должны находиться на одной линии.

При решении задачи определения координат устройства в замкнутом пространстве были решены следующие подзадачи:

- создание математической модели для поиска устройства внутри заданного помещения;

- по результатам математического моделирования была оценена возможность определения координат устройства и проанализированы погрешности определения координат.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

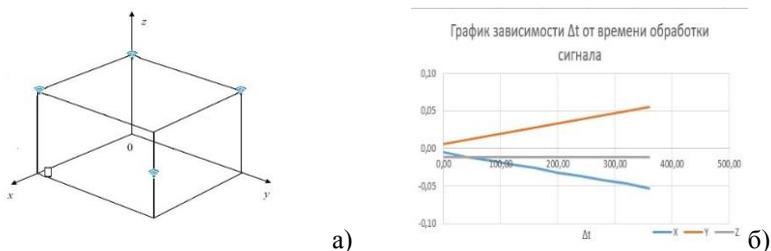


Рис. 2. а) расположение приемо-передатчика,
б) график зависимости погрешности от времени обработки сигнала

Задавшись качеством оценки координат с учетом погрешности в 10 см (проработанная фокусировка электромагнитного излучения и диаграмма направленности планарной антенны позволяет допускать заданную погрешность), требуемая погрешность времени составила ± 300 пикосекунд. Следующим шагом в реализации проекта будет поиск и подбор подходящего оборудования, а именно: счетчика временных интервалов с погрешностью не более 300 пикосекунд, а так же тактового генератора с интервалом, аналогично интервалу счетчика.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части Государственного Задания №8.6872.2017/БЧ.

Список литературы

1. Ведынкин, Д.А. Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2016» / Д.А. Ведынкин, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 90–99.
2. Vedenkin, D.A. Control of parameters of large aperture antenna arrays with using the overflight method and principles of virtual focused apertures / D.A. Vedenkin., V.I. Klassen., Y.E Sedelnikov // Нелинейный мир. 2017. Т. 15. № 1. С. 32–36.

3. *Vedenkin, D.A.* Antennas, focused in the near radiated field zone. features and technical application / O.V. Potapova, Y.E. Sedelnikov // В сборнике: 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT 2013 2013. С. 560–565.

4. *Веденькин, Д.А.* Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников. // Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86–88.

5. *Веденькин, Д.А.* Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. № 4. С. 40–46.

6. *Веденькин, Д.А.* Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 5. С. 36.

7. *Веденькин, Д.А.* Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 1 (29). С. 18–31.

8. *Веденькин, Д.А.* Случайные разреженные когерентные антенные решетки, сфокусированные в зоне ближнего излученного поля / Д.А. Веденькин, А.Р. Насыбуллин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 4 (32). С. 22–29.

9. *Веденькин, Д.А.* Свойства объемных случайных антенных решеток, сфокусированных в зоне ближнего излученного поля / Седельников Ю.Е., Насыбуллин А.Р., Рябова Н.В., Иванов В.А. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 12. С. 30–34.

10. *Веденькин, Д.А.* Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток / Ю.Е. Седельников // Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 10 (28). С. 56–59.

11. *Vedenkin, D.A.* Antenna arrays focused on broadband signals / D.A. Vedenkin, Y.E Sedelnikov, A.R. Nasybullin // Journal of Tele-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

communications and Information Technology. 2016. Т. 2016. № 2. С. 95–102

12. *Веденькин, Д.А.* Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу / Ю.Е. Седельников, Д.А. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 3-1. С. 23–30.

13. IEEE standard 802.11. / New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007.

14. *Аверин И.М., Ермолаев В.Т., Флакман А.Г., Семенов В.Ю.* Определение местоположения пользователя в Wi-Fi сети, 2011

**DESIGN OF FOCUSED WIRELESS-NONE DEVICE.
PART 1. PRINCIPLE OF DEFINITION
OF THE COORDINATE OF THE DEVICE**

Akulinin D., Gimadiev D., Yulusheva A.

Supervisor: D. Vedenkin, PhD, Associate professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

A method for determining the location inside the premises using the local wireless networks (WLAN) of the Wi-Fi family (IEEE 802.11 standard) is proposed. To solve the problems of positioning, the method of trilateration and the distance between the access points and the user's antenna are used. It is shown that this method is more accurate than other solutions of this problem.

ОСОБЕННОСТИ G – ДИАГРАММЫ УСТОЙЧИВОСТИ РЕ- ЗОНАТОРОВ ГАЗОВЫХ ЛАЗЕРОВ

Андрющенко Т.А., Васильев И.В.

Научный руководитель: Л.Г. Кесель, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Произведен расчет зависимости G – параметров для различных типов резонаторов от удельного энерговклада в плазму.

Одним из основных требований, предъявляемых к лазерам, является условие стабильности пространственных характеристик выходного излучения. В газовых лазерах с диффузионным охлаждением, фактором, оказывающим, существенное влияние на характеристики излучения является тепловая линза, параметры которой сильно зависят от величины удельного энерговклада в плазму. В устойчивых резонаторах эффект тепловой линзы не влияет на энергетические характеристики лазера. В неустойчивых резонаторах тепловая линза оказывает влияние на один из его основных параметров – коэффициент увеличения, следовательно, и на величину выходной мощности, связанную с коэффициентом пропускания.

В данной работе для различных типов резонаторов были рассчитаны зависимости G – параметров от удельного энерговклада в плазму.

Матрица передачи среды с учетом тепловой линзы имеет вид:

$$\begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} ch(\alpha * L) & \frac{sh(\alpha * L)}{\alpha} \\ \alpha * sh(\alpha * L) & ch(\alpha * L) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\text{где } \alpha = \left(\frac{2K(n_0-1)\frac{T_0}{T_y(r_0)}}{1+(n_0-1)\frac{T_0}{T_0(r_0)}} \right)^{\frac{1}{2}},$$

$$K = \frac{K_{уд}(1-\eta)}{4\lambda * T_y(r_0)},$$

$$T_y(r_0) = T_0 + W_{уд}^2(1-\eta)\frac{r_0}{4\lambda},$$

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

$W_{уд}$ – удельный энерговклад в плазму газового разряда; η – электрооптический КПД лазера; r_0 – радиус трубки; λ – коэффициент теплопроводности газовой смеси; L – длина резонатора; T_0 – температура стенок разрядной камеры; n_0 – показатель преломления при $T = T_0$; $T_y(r_0)$ – максимальная температура газа вблизи центра разрядной камеры.

С учетом коэффициентов матрицы $ABCD$ (1) значения G – параметров имеют вид:

$$G_1 = A - \frac{B}{R_1},$$

$$G_2 = D - \frac{B}{R_2}.$$

где R_1, R_2 – радиусы кривизны зеркал.

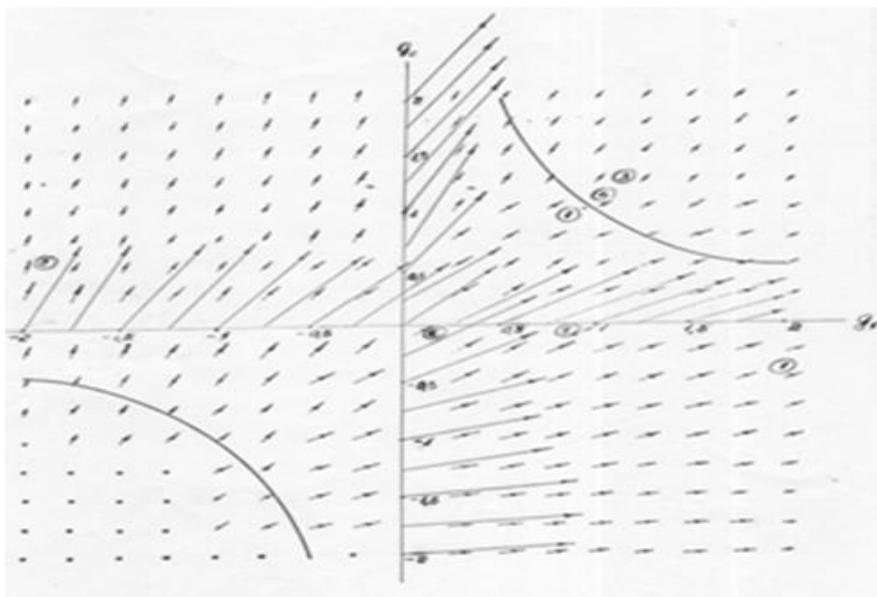


Рис. 1. G – диаграмма устойчивости резонаторов

На рисунке 1 представлена G – диаграмма с полем смещений точек, соответствующих отдельным типам резонаторов, обусловленных влиянием тепловой линзы для случая цилиндрической

симметрии. На ней направление стрелок указывает на смещение исходной изображающей точки под влиянием тепловой линзы, длина вектора пропорциональна величине смещения. Анализ G – диаграммы показывает, что тепловая линза по-разному влияет на резонаторы различных типов. Для точек на G – диаграмме, соответствующих устойчивым резонаторам, смещения, обусловленные влиянием тепловой линзы, приводит к изменению кривизны волнового фронта. В свою очередь, для точек, расположенных близко к границе устойчивости, возможен переход в неустойчивую область (см. например т. 1). Для точек на G – диаграмме, соответствующих неустойчивым резонаторам, влияние тепловой линзы приводит к изменению коэффициента увеличения. Наибольшая зависимость коэффициента увеличения от тепловой линзы проявляется в области, где направление смещения составляет с осями G_1 и G_2 , углы близкие к $\frac{\pi}{2}$ (см. например т. 2). Изображающие точки 3, 4, 5, 6 соответствуют различным схемам неустойчивых резонаторов.

Экспериментально изменение коэффициента пропускания оценивалось по изменению ширины кольца выходного излучения. Для устойчивой конфигурации (изображающая точка 7) экспериментально зарегистрирован переход резонатора в неустойчивую область при увеличении удельного энерговыклада.

По результатам данной работы можно сделать следующий вывод – при выборе конфигурации устойчивого резонатора необходимо учитывать возможность перехода последнего в неустойчивую область, при условии, что изображающая точка расположена в области резкой зависимости G – параметра от удельного энерговыклада.

FEATURES G – CHART OF STABILITY OF THE RESONATORS GAS LASERS

Vasiliev I.

Supervisor: L. Kesel, Ph. D., associate Professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

Calculation based on G – parameters for various types of resonators from the specific heat input to the plasma.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАТОРА КООКСИАЛЬНОГО ЛАЗЕРА

Андрющенко Т.А., Цыгвинцева Р.С.

Научный руководитель: Л.Г. Кесель, канд. техн.наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В оптико-геометрическом приближении определены основные характеристики резонатора, состоящего из плоского и асферического зеркал с дополнительным осесимметричным отражателем.

В работе рассмотрен резонатор коаксиального лазера, состоящий из плоского и асферического зеркала с дополнительным осесимметричным отражателем. Схема резонатора представлена на рисунке 1.

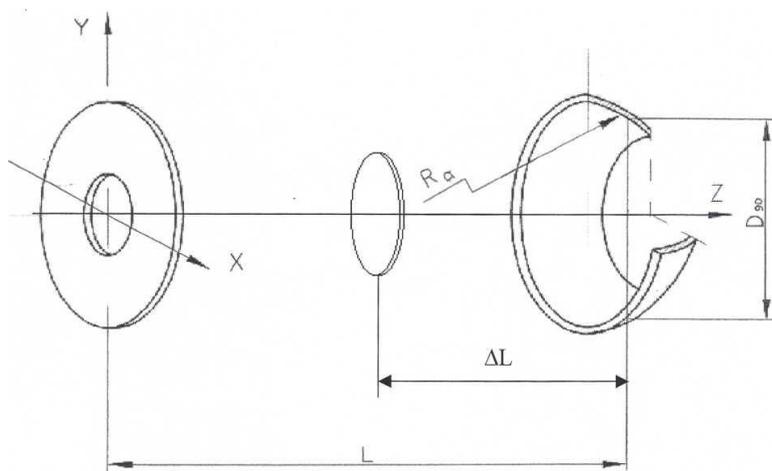


Рис. 1. Схема резонатора, с активным элементов кольцевого сечения

Асферическое зеркало выполнено в виде осесимметричного коноида, образующая которого - дуга окружности радиуса R_a , L – длина резонатора, дополнительный отражатель отстоит от асфе-

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

рического зеркала на расстоянии ΔL . Особенностью данного резонатора является то, что можно плавно и ступенчато менять ΔL .

Плоская модель резонатора, образованная при сечении резонатора плоскостью, проходящей через ось симметрии, показана на рисунке 2.

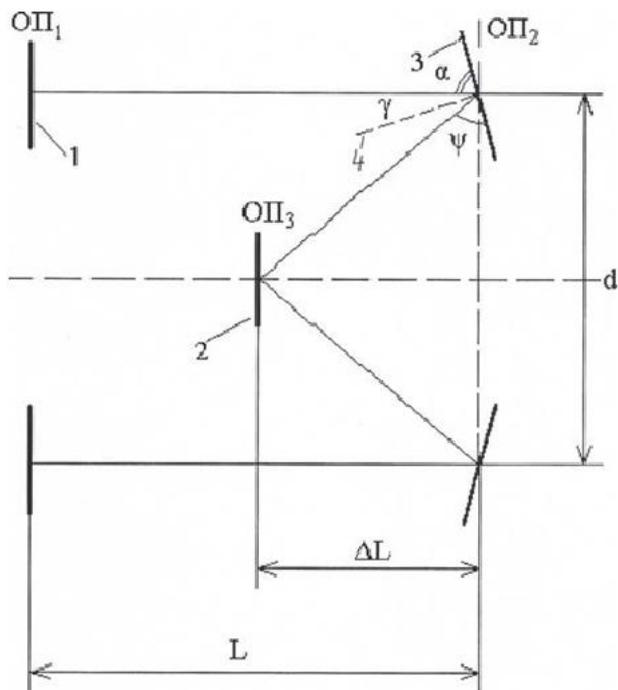


Рис. 2. Плоская модель резонатора

На этом рисунке: 1 – плоское зеркало; 2 – дополнительный отражатель; 3 – асферическое зеркало; 4 – нормаль к зеркалу при конкретном значении d_{90} ; γ – угол падения луча на асферическое зеркало; ОП – опорная плоскость; L – длина резонатора.

Для данного резонатора угол при вершине конуса α , обеспечивающий нормальное падение луча на плоское зеркало и соответствующий угол падения луча на асферическое зеркало γ отличаются от 45° .

$$\alpha = 90^\circ - \gamma;$$

$$\gamma = 90^\circ - \operatorname{arctg} \left(\frac{\Delta L}{d_{90}} \right) \frac{180^\circ}{\pi}.$$

Использовалась матричная методика расчета оптических систем [1]. Исследуемый резонатор был заменен эквивалентным линейным резонатором и записаны лучевые матрицы передачи параксиальных лучей для элементов резонатора. Эквивалентная схема резонатора для случая, когда входная и выходная опорные плоскости совмещены (ОП1) представлена на рисунке 3. Расстояние, которое проходит отраженный от асферического зеркала луч до дополнительного отражателя определяется формулой:

$$L_1 = \sqrt{\Delta L^2 + \left(\frac{d_{90}}{2} \right)^2}.$$

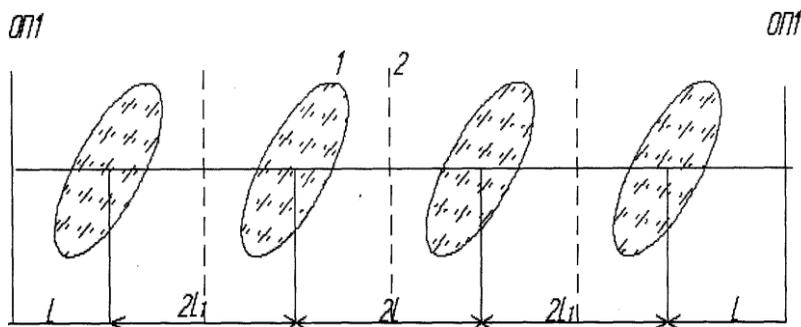


Рис. 3. Эквивалентная схема резонатора

Параметрами основной моды является полуширина моды в перетяжке ω_0 и ее расходимость θ .

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{-\lambda \sqrt{1 - \left(\frac{A+D}{2} \right)^2}}{\pi C}};$$

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi \omega_0}.$$

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

где λ – длина волны излучения, A, B, C, D – элементы лучевой матрицы.

Были определены границы зон устойчивости и неустойчивости резонатора. Зоны устойчивости и неустойчивости резонатора удобно рассмотреть в зависимости от величины R . При этом имеется 3 характеристических значения R , определяющих границы зон (рис. 4.). Неустойчивые области на этом рисунке заштрихованы. Величины R для конкретных параметров лазера имеют значения:

$$R_1 = 223 \text{ мм},$$

$$R_2 = 242 \text{ мм},$$

$$R_3 = 2707 \text{ мм}.$$

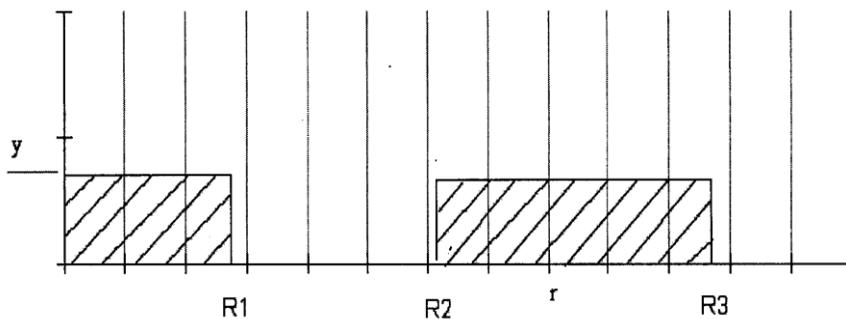


Рис. 4. Зоны устойчивости и неустойчивости резонатора

В работе были получены зависимости пятна основной моды ω_0 от R и угла расходимости θ от R в трех сечениях резонатора для двух устойчивых зон: когда опорная плоскость расположена на плоском зеркале (ОП1), когда опорная плоскость расположена вблизи асферического зеркала (ОП2), когда опорная плоскость расположена на дополнительном отражателе (ОП3). Из анализа этих зависимостей можно определить конфигурацию объема, занимаемого электромагнитным полем внутри резонатора.

Обобщая полученные в данной работе результаты можно сделать следующие выводы:

– резонатор, образованный плоским и асферическим зеркалами с дополнительным осесимметричным отражателем имеет 2 зоны устойчивости с различными размерами основной моды. Короткофокусная зона резонатора составляет 19 мм, следовательно, требования к точности изготовления асферического зеркала становятся менее жесткими;

– так как увеличивается путь, проходимый излучением за счет дополнительного отражателя, то и расходимость излучения имеет малую величину;

– в исследуемом резонаторе можно плавно или ступенчато менять положение дополнительного осесимметричного отражателя и использовать его для селекции типов колебаний;

– эффективная длина данного лазера определяется его геометрическими размерами и взаимным расположением элементов, образующих резонатор.

Список литературы

1. Джеррард А., Берч Дж. М. Введение в матричную оптику: пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 344 с.

УДК 621.396.2

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ ЩЕТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Артемов В.И., Кузнецов А.А.

Научный руководитель: О.Г. Морозов, докт. техн. наук, профессор
*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

В данной работе описан метод контроля температуры с помощью волоконно-оптического датчика на основе массива волоконных решеток Брэгга. Рассмотрены характеристики суммарного профиля отражения при воздействии температуры.

В статье, в качестве объекта исследования, рассмотрен нагрев щетки щеточно-коллекторного узла электрической машины. Щеточно-коллекторный узел является одной из самых ненадежных частей электрической машины. Большинство отказов связано с поломками тягового электродвигателя – пробоями обмоток, из-за их перегрева, перебросами дуги по коллектору, вызванными нарушениями коммутационной устойчивости в щеточно-коллекторном узле и появлению искрения. При искрении наблюдается повышение температуры в щетке электродвигателя.

Чрезмерный нагрев коллектора может быть вызван повышенной плотностью тока, проходящего через щеточный контакт.

Существующие методы контроля обладают существенными недостатками, такими как высокая погрешность измерения, необходимость учитывать внешние факторы при проведении измерений, вероятность попадания высокого напряжения питания на измерительную часть устройства, сложность конструкции. Для решения этих проблем предложено использовать волоконно-оптический датчик на основе массива волоконных решеток Брэгга.

Щетка электродвигателя в процессе эксплуатации интенсивно изнашивается. Поэтому выбран массив волоконных решеток Брэгга, поскольку с помощью такой структуры можно покрыть всю длину щетки.

Профиль отражения для i -ой решетки можно записать в виде [1]:

$$R_{FBG-ARi}(\lambda, N) = I_{ri}(\lambda) + C_{ri}(\lambda) \quad (1)$$

где N – количество решеток, $I_{ri}(\lambda) = [1 - R_{FBG}(\lambda)]^{2(N-1)} R_{FBG}(\lambda)$,
 $C_{ri}(\lambda) = \frac{(N-1)(N-2)}{2} R_{FBG}(\lambda)^3 [1 - R_{FBG}(\lambda)]^{2N-4}$, $N \geq 3$.

Результирующий спектр отражения массива ВРБ представляет собой сумму отраженного от N ВРБ излучения:

$$R_{FBG-AR}(\lambda, N) = \sum_{i=1}^N R_{FBG-ARi}(\lambda, N) = \sum_{i=1}^N [I_{ri}(\lambda) + C_{ri}(\lambda)] \quad (2)$$

Для моделирования были выбраны обычные волоконные решетки Брэгга, огибающую спектра которых можно определить, как [1]:

$$R_{FBG}(\lambda) = R_g \exp[-4 \ln 2 (\lambda - \lambda_B)^2 / B_g^2] \quad (3)$$

где: R_g , λ_B , B_g начальные параметры амплитуды, длины волны и спектральной ширины решетки.

Резонансная длина волны ВРБ λ_{FBG} зависит от температуры волоконного световода. Эта зависимость может быть выражена следующим уравнением [2]:

$$\lambda_{FBG} = 2n_{eff} \Lambda \left[\frac{1}{\Lambda} \frac{\partial \Lambda}{\partial T} + \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial T} \right] \Delta T, \quad (4)$$

где: n_{eff} – эффективный показатель преломления основной моды, Λ – период его модуляции, ΔT – изменение температуры.

При исследовании характеристик количество решеток было выбрано равным 5. В процессе моделирования центральная длина волны пятой решетки смещалась на 1пм, что соответствует 1⁰С.

На рисунке 1 представлены характеристики профиля отражения при различной длине волны пятой решетки.

**ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ**

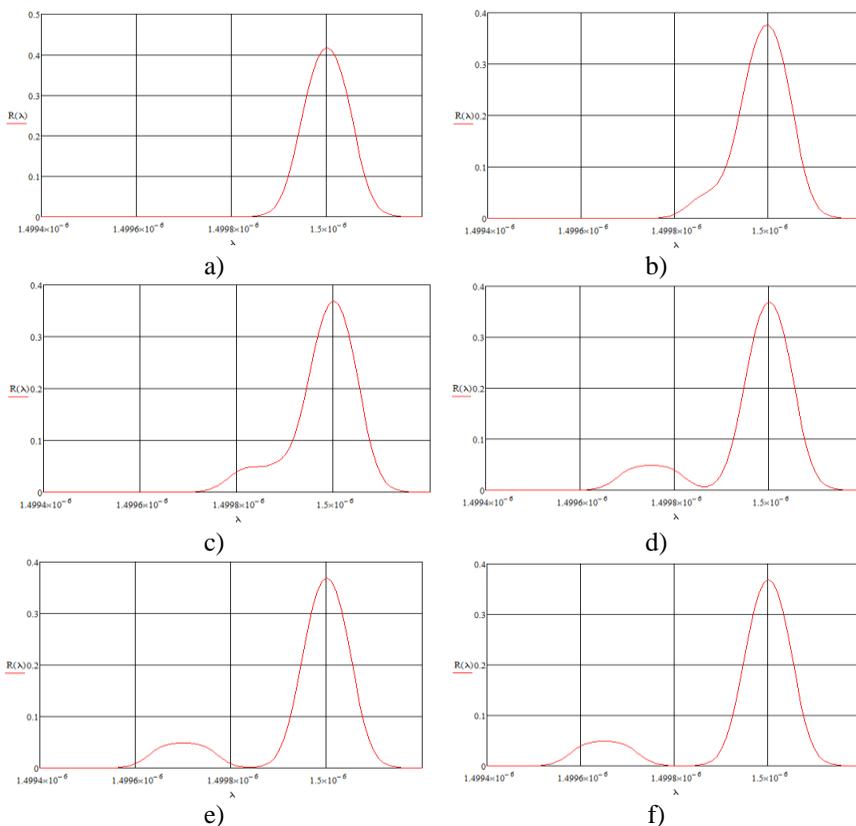


Рис. 1. Профиль отражения массива ВРБ без смещения (а), Профиль отражения массива ВРБ при смещении длины волны пятой решетки на 100пм (б), Профиль отражения массива ВРБ при смещении длины волны пятой решетки на 150пм (с), Профиль отражения массива ВРБ при смещении длины волны пятой решетки на 200пм (д), Профиль отражения массива ВРБ при смещении длины волны пятой решетки на 250пм (е), Профиль отражения массива ВРБ при смещении длины волны пятой решетки на 300пм (ф)

На рисунке 2 приведена зависимость изменения значения коэффициента отражения на центральной длине волны массива ВРБ, изменение амплитуды и центральной длины волны пятой решетки.

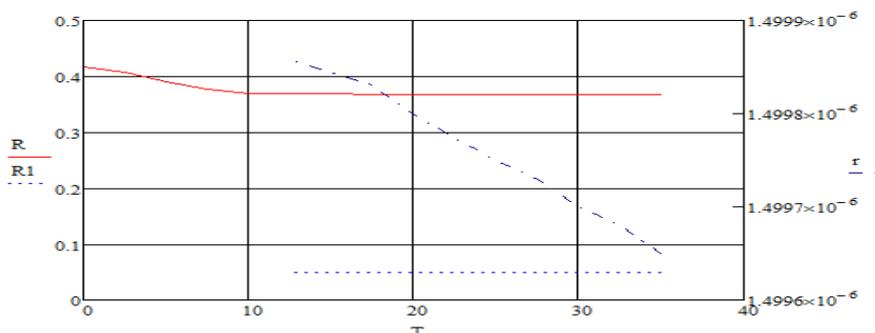


Рис. 2. Зависимость изменения значения коэффициента отражения на центральной длине волны массива ВРБ (сплошная линия), изменение амплитуды (пунктирная линия) и центральной длины волны пятой решетки (штрихпунктирная линия)

По полученным значениям видно, что с увеличением температуры пятой ВРБ она выпадает из общего спектра отражения, что приводит к уменьшению коэффициента отражения на центральной длине волны отражения массива ВРБ, а с дальнейшим увеличением температуры, значение коэффициента отражения не меняется. Указанное обстоятельство может быть использовано для сигнализации превышения температуры.

Заключение

В статье был рассмотрен датчик контроля уровня температуры на основе массива волоконных решеток Брэгга. С помощью предложенной схемы можно мерять температуру непрерывно, поскольку массив из решеток покрывает всю длину щетки. Были исследованы характеристики при воздействии температуры на пятую решетку. По полученным результатам видно, что при воздействии температуры происходит «выпадение» пятой решетки из общего спектра отражения, и таким образом можно сделать вывод о том, что на щетку воздействует определенная температур.

Список литературы

1. Wang, Y. “A quasi-distributed sensing network with time-division multi-plexed fiber Bragg gratings” / Y. Wang, J. Gong, D. Y. Wang, W. Bi, and A. Wang // IEEE Photon. Technol. Lett. – 2011. – vol.

23, no. 1. – С. 70–72.

2. *Морозов О.Г., Артемьев В.И., Кузнецов А.А.* Волоконно-оптический датчик определения величины износа поверхности // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы. Материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (г. Казань, 7-8 апреля 2016 г.). Казань: ООО «16ПРИНТ», 2016.

FIBER OPTIC TEMPERATURE SENSORS FOR ELECTROENGINE BRUSH

Artemiev V., Kuznetsov A.

Supervisor: O. Morozov, professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

This article describes a method for temperature control using a fiber-optic sensor based on an array of fiber Bragg gratings. The characteristics of the total reflection profile under the influence of temperature are considered.

УДК 621.396.2

**ДАТЧИК ИЗНОСА ЩЕТКИ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ
ВОЛОКОННОЙ РЕШЕТКИ БРЭГГА
С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ
И ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО**

Артемов В.И., Кузнецов А.А.

Научный руководитель: О.Г. Морозов докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной работе описан метод контроля износа с помощью волоконно-оптического датчика на основе решетки Брэгга с фазовым сдвигом и интерферометра Фабри-Перо. Исследованы характеристики отражения при уменьшении длины решетки.

В статье, в качестве объекта исследования, рассмотрен износ щетки щеточно-коллекторного узла электрической машины. Щеточно-коллекторный узел является одной из самых ненадежных частей электрической машины, поскольку скользящие контакты (щетки) в процессе эксплуатации интенсивно стачиваются. В простейшем случае контроль уровня износа щетки проходит визуально, после разбора устройства.

Существующие методы контроля износа обладают существенными недостатками, такими как возможность только порогового контроля, сложность конструкции, а также при использовании электрических проводников может поступить высокое напряжение питания двигателей, что приведет к выходу из строя измерительной части устройства. Для решения этих проблем предложено использовать волоконно-оптический датчик на основе волоконной решетки Брэгга. Благодаря использованию волоконных брэгговских структур вида решетки Брэгга с фазовым сдвигом и интерферометра Фабри-Перо появляется два этапа контроля износа.

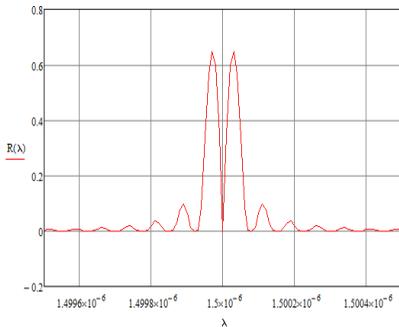
Огибающую спектра ВРБ с фазовым сдвигом по пропусканию можно определить, как [1]:

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

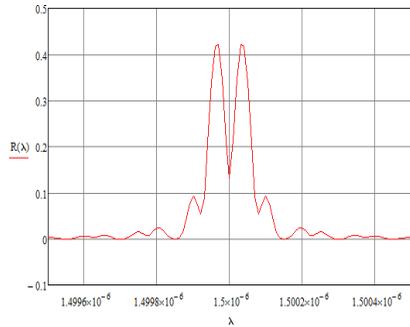
$$T = \frac{\gamma^4}{(\Gamma^2 + (D_1 - \Gamma)\{D_1 - \Gamma[1 - 2 \cos(\Delta\varphi)]\} + D_2[D_2 - 2\Gamma \sin(\Delta\varphi)]}, \quad (1)$$

где $\Gamma = \Omega^2 \sinh(\gamma l) \sin(\gamma l')$, l и l' – длина решетки до и после фазового сдвига, $\gamma^2 = \Omega^2 - \Delta\beta^2$, $\Omega = k = \frac{\pi \Delta n_0 \eta}{\lambda}$, $D_1 = \gamma^2 \cosh(\gamma L)$, $D_2 = \Delta\beta \gamma \sinh(\gamma L)$, $\Delta\beta = \frac{\pi}{\Lambda} - \frac{2\pi n_{eff}}{\lambda}$, $\Delta\varphi$ – значение фазового сдвига в решетке. Для иллюстрации изменения спектральных свойств ВРБ были выбраны следующие параметры основной моды был выбран равным $n_{eff} = 1.5$. Период решетки был выбран таким образом, чтобы для невозмущенной сердцевины резонансная длина волны $\lambda_{ВРБ}$ соответствовала 1500нм. Значение фазового сдвига $\Delta\varphi$ был выбран равным π . Начальная длина решетки была выбрана равной: $L = 20$ мм, $k_{BG}L = 0.38$. В ходе численного моделирования спектральных свойств решетки Брэгга, мы уменьшали длину решетки.

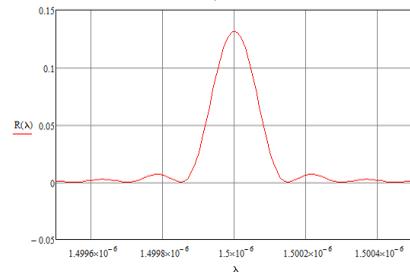
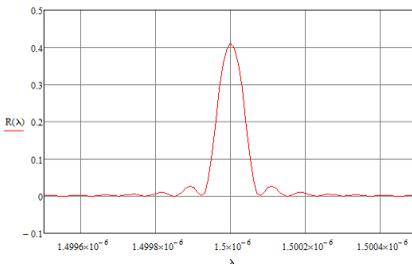
На рисунке 1 огибающие спектра решетки Брэгга с фазовым сдвигом при уменьшении длины L .



a)



b)



с) d)
Рис. 1. Профиль спектра отражения ВРБ с фазовым сдвигом при длине структуры $L = 20$ мм (а), Профиль спектра отражения ВРБ с фазовым сдвигом при длине структуры $L = 15$ мм (б), Профиль спектра отражения ВРБ с фазовым сдвигом при длине структуры $L = 10$ мм (с), Профиль спектра отражения ВРБ с фазовым сдвигом при длине структуры $L = 5$ мм (д)

На рисунке 2 приведена зависимость изменения мощность отраженного от ВРБ с фазовым сдвигом сигнала $S_{ps}(L)$ от ее длины L .

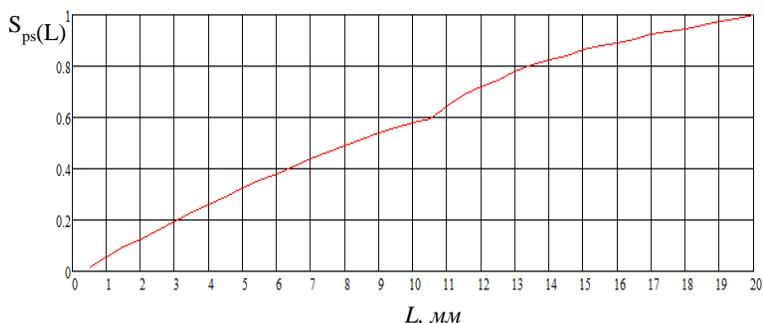


Рис. 2. Зависимость изменения мощность отраженного от ВРБ с фазовым сдвигом сигнала $S_{ps}(L)$ от ее длины L

По результатам моделирования можно сделать вывод, что с уменьшением длины ВРБ с фазовым сдвигом происходит уменьшение «глубины» узкополосного участка в спектре отражения, а после того, как один из участков полностью сотрется, ВРБ с фазовым сдвигом становится обычной решеткой, изменение спектральных характеристик которой описаны в работе [2].

Далее было проведено математическое моделирование интерферометра Фабри-Перо.

Огибающую спектра интерферометра Фабри – Перо можно определить, как [1]:

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

$$R_{FP}(\lambda) = \frac{(\sqrt{R_{FBG1}} - \sqrt{R_{FBG2}})^2 + 4\sqrt{R_{FBG1}R_{FBG2}}\sin^2\left(\frac{\psi}{2}\right)}{(1 - \sqrt{R_{FBG1}R_{FBG2}})^2 + 4\sqrt{R_{FBG1}R_{FBG2}}\sin^2\left(\frac{\psi}{2}\right)}, \quad (2)$$

где R_{FBG1} и R_{FBG2} – профили спектра отражения первой и второй ВРБ; $\psi = 4\pi n_{eff}l/\lambda$, l – расстояние между ВРБ; λ – длина волны.

Для исследования характеристик ИФП были выбраны следующие основные параметры: эффективный показатель преломления основной моды $n_{eff} = 1,5$, невозмущенная центральная длина волны отражения ВРБ $\lambda_{B1} = \lambda_{B2} = 1500$ нм, $L_1 = L_2 = 5$ мм, расстояние между решетками $l = 5$ мм, $kL = 0,38$.

В ходе моделирования спектральных свойств интерферометра Фабри-Перо мы уменьшали длину брэгговской структуры L .

На рисунке 3 огибающие спектра интерферометра Фабри-Перо при уменьшении длины L .

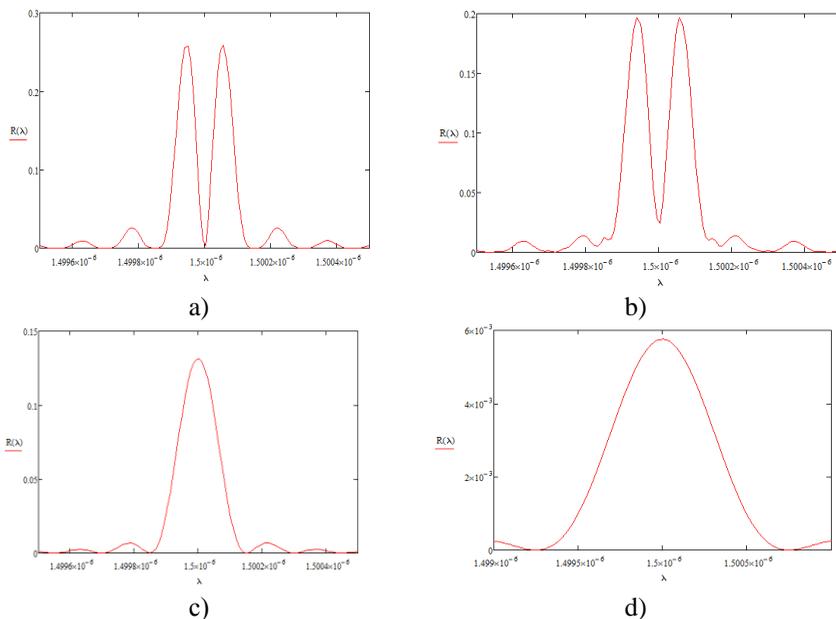


Рис. 3. Профиль спектра отражения интерферометра Фабри-Перо при длине структуры $L = 15$ мм (а), Профиль спектра отражения

интерферометра Фабри-Перо при длине структуры $L = 13\text{мм}$ (b),
Профиль спектра отражения интерферометра Фабри-Перо
при длине структуры $L = 10\text{-}5\text{мм}$ (c), Профиль спектра
интерферометра Фабри-Перо при длине структуры $L = 1\text{мм}$ (d)

На рисунке 4 приведена зависимость изменения мощность отраженного от интерферометра Фабри-Перо сигнала $S_{\text{FP}}(L)$ от ее длины L .

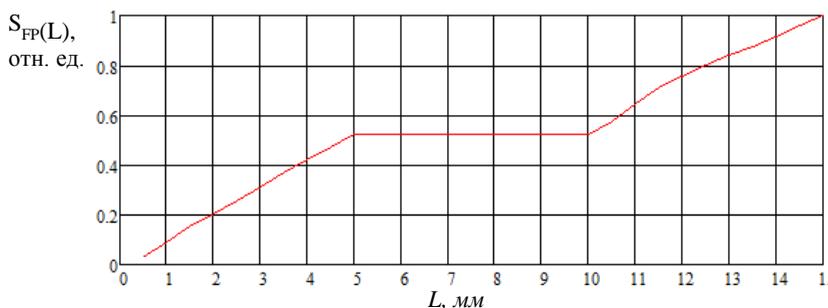


Рис. 4. Зависимость изменения мощность отраженного от ИФП сигнала от его длины L

По полученным результатам видно, что с уменьшением длины решетки происходит уменьшение «глубины» узкополосных провалов, а после того, как один из участков сотрется полностью, ИФП превращается в обычную ВРБ, изменение спектральных характеристик которой описаны в работе [2].

Заключение

В статье был рассмотрен датчик контроля уровня износа на основе ВРБ с фазовым сдвигом и интерферометра Фабри-Перо. Благодаря использованию волоконных брэгговских структур вида решетки Брэгга с фазовым сдвигом и интерферометра Фабри-Перо появляется два этапа контроля износа. После проведения математического моделирования стало ясно как меняются характеристики отражения при воздействии износа. В обоих случаях при первом этапе контроля износа уменьшается глубина узкополосных провалов, а во втором этапе мы оцениваем уровень износа по амплитуде и ширине профиля отражения.

Список литературы

1. Морозов О.Г., Нуреев И.И., Сахабутдинов А.Ж., Кузнецов А.А., Артемьев В.И. Волоконно-оптические датчики износа и температуры щеток электродвигателя // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2016. Том 4, №2. С. 18-23.

2. Morozov Oleg G., Kuznetsov Artem A., Morozov Gennady A., Nureev Inur I., Sakhabutdinov Airat Zh., Faskhutdinov Lenar M., Artemiev Vadim I. Smart photonic carbon brush // Proc. of SPIE Vol. 9807 98070M-1

**FIBER OPTIC WEAR SENSORS
FOR ELECTROENGINE BRUSH**

Artemiev V., Kuznetsov A.

Supervisor: O. Morozov, professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

In this paper we describe a method for controlling wear using a fiber-optic sensor based on a Bragg grating with a phase shift and a Fabry-Perot interferometer. The reflection characteristics are studied with decreasing lattice length.

УДК 612.816:591:577.175.822

ИЗУЧЕНИЕ ПРОКСИМО-ДИСТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ ПРЕСИНАПТИЧЕСКОГО НЕРВНОГО ОКОНЧАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КАМЕРЫ

Балашова Д.В.

Научный руководитель: Э.Ф. Хазиев, канд. биол. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Ионы кальция играют важнейшую роль в жизнедеятельности сигнальных систем как животной, так и растительной клетки, в связи с чем диагностирование изменений концентрации внутриклеточного кальция является важной составляющей многих исследований.

Предположили, что распространяющиеся потенциалы возбуждения инициируют различные неспецифические функциональные изменения с помощью концентрационных сдвигов, которые возникают в клетках как следствие ионных потоков, участвующих в генерации реакций. В связи с этим изучение динамики ионных концентраций, в частности Ca^{2+} , важно не только для изучения принципов работы генерации потенциалов возбуждения, но и для понимания механизмов преобразования электрических сигналов в функциональный ответ. Наиболее чувствительным и вследствие этого широко применяемым методом регистрации кальциевой динамики является метод флуоресцентного анализа, основанный на применении ряда Ca^{2+} -чувствительных флуоресцентных зондов.

Целью данного исследования является анализ специфики работы нервно-мышечного соединения в различных частях нервного окончания (изучение проксимо-дистальных характеристик работы синапса). Основной задачей моей работы является изучение входа ионов кальция вдоль протяженных двигательных нервных окончаний лягушки. В экспериментах, проведенных в ходе выполнения данной работы, будет изучена динамика входа кальция (Ca^{2+} -транзист) в различных участках нервного окончания.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

Эксперименты были выполнены на изолированном нервно-мышечном препарате озерной лягушки *Ranaridibunda* в осенне-зимний период.

Общая постановка проблемы - изучение кальциевой сигнализации в живых объектах. Мы это изучали на примере нервно – мышечного соединения. Один из методов, который существует - это оптический метод регистрации. Он возник из-за того, что наше конкретно нервно- мышечное соединение, с которым мы работаем (у лягушки) оно имеет очень малый размер и у него очень сложно померить напрямую кальций, который входит в него. Это методика представляет собой в целом – загрузку специального флуоресцентного индикатора, который чувствителен к кальцию. Индикаторы бывают для разных ионов, мы берем краситель, который чувствителен именно к кальцию. Загружаем в нерв краску. Эта краска работает следующим образом: она может образовывать устойчивые соединения с ионами кальция и, в том случае, если мы будем освещать этот комплекс красителя с кальцием светом с определенной длиной волны, т.е. то есть будем передавать какую-то энергию с высокой интенсивностью, поскольку свет будет монохроматический. Электроны молекул красителя будут переходить на более высокие энергетические уровни. Там электрон будет находиться какое – то время и потом перейдет обратно, при этом испуская энергию, но уже с большей длиной волны, т.е. энергия уже будет меньше, в виде фотонов света. Освещаем мы с длиной волны 488 нм, а из – за этого перехода энергии, регистрируем свет длиной волны примерно 520 нм. Благодаря этому сдвигу, мы можем что – либо регистрировать, т.к. если бы его не было, мы бы светили и ничего бы не увидели. А так этот свет мы отсекали и уже могли увидеть свет, испускаемый самим красителем. Этот метод был придуман не просто так, а потому что по-другому регистрировать кальций бы просто не получилось.

На примере лягушки мы покажем этот метод. Еще его можно назвать быстрый кальциевый – транзист. Данным способом можно измерить различное действие разных физиологически – активных веществ. То есть здесь происходит слияние двух методов: фотометрического (с использованием микроскопа, осветителя, АЦП и

др.) и фармакологического (после проведения фотометрического метода, можем заливать в исследуемый объект различные растворы и смотреть, что из- за этого вещества изменилось).

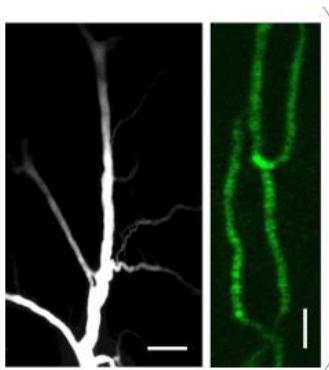


Рис. 1. Нерв (левый, масштабный стержень 200 мкм) и нервные окончания (справа, масштабный стержень 10 мкм), нагруженные флуоресцентным индикатором

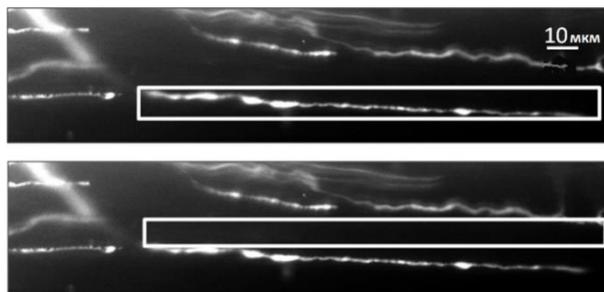


Рис. 2. Нервная терминаль, загруженная флуоресцентным индикатором и зона регистрации кальциевого транзиента (белый прямоугольник наверху) и фонового свечения (внизу)

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

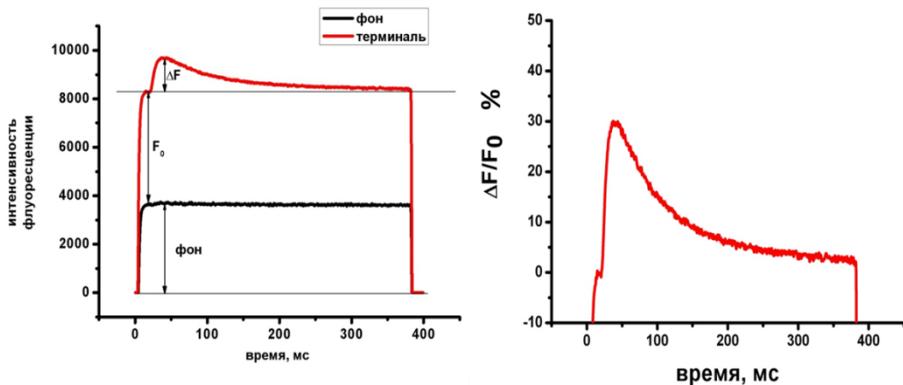


Рис. 3. А) Количественное представление изменения интенсивности флуоресцентного сигнала; Б) Флуоресцентный сигнал после процедуры обработки

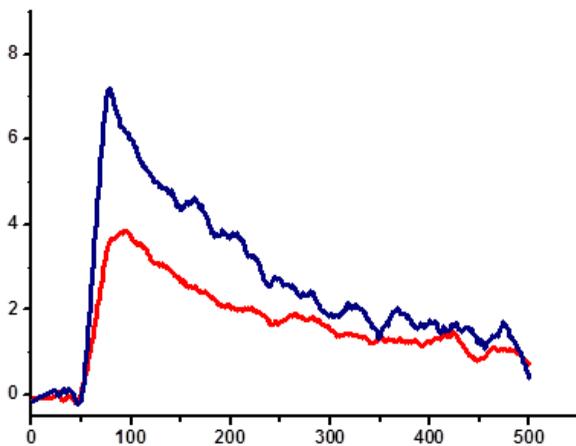


Рис. 4. След интенсивности флуоресценции $\Delta F / F_0$ в контроле и после применения АТФ (100 мкМ). Изменение средней амплитуды переноса Ca^{2+} в присутствии АТФ (100 мкМ) в разных частях нервного окончания

В экспериментах, проведенных в ходе выполнения данной работы, мы изучали динамику входа кальция (Ca^{2+} -транзистент) в различных участках нервного окончания, то есть отдельной терминали.

В результате проведенных опытов было выявлено, что амплитуда Ca^{2+} -транзистента уменьшается при удалении от проксимальной части терминали и достигает минимальных значений в дистальной области терминали. Причем амплитуда Ca^{2+} -транзистента в проксимальной части нервного окончания на 40% превосходит амплитуду в дистальной области терминали. Полученные результаты позволяют полагать, что градиент интенсивности секреции медиатора в различных участках нервного окончания может быть обусловлен различным уровнем входа ионов кальция вдоль нервного окончания.

Список литературы

1. *Феофанов А. В.* Спектральная лазерная сканирующая конфокальная микроскопия в биологических исследованиях // Успехи биологической химии. — 2007. — Т. 47. — С. 371–410.
2. *Костюк, П. Г.* Кальций и клеточная возбудимость / П.Г. Костюк // М.: Наука, 1986. — С. 5–256.
3. *Николлс Д., А. Роберт Мартин.* «От нейрона к мозгу» // Пер. с англ. П. М. Балабана, 2003
4. *Авдонин, П. В.* Рецепторы и внутриклеточный кальций / П. В. Авдонин, В. А. Ткачук. — М.: “Наука”, 1994. — 288 с.
5. *Joseph R. Lakowicz.* Principles of Fluorescence Spectroscopy / R. J. Lakowicz. -N.Y.: Springer Science, 2006. — 960 p.
6. *Neher, E.* The use of fura-2 for estimating Ca buffers and Ca fluxes / G. Grynkiewicz, M. Poenie, R. Y. Tsien // Neuropharmacology. — 1995. — V. 34. - № 11. — P. 1423–42.
7. *Gundersen C.B., Katz B., Miledi R.* 1982. The antagonism between botulinum toxin and calcium in motornerve terminals. Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 216(1204), 369–376.

**STUDYING OF PROKSIMO-DISTAL
CHARACTERISTICS OF WORK OF THE PRESYNAPTIC
NERVOUS TERMINATION WITH USE
OF THE HIGH-SPEED CAMERA**

Balashova D.

Supervisor: E. Khaziev

(Kazan National Research Technical

University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

Calcium ions play a crucial role in the functioning of signaling systems of both animal and plant cells, and therefore the determination of changes in intracellular calcium concentration is an important aspect of many studies.

УДК 621.365.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ КВЧ ЭМП НА АКТИВНОСТЬ РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАРТОФЕЛЯ

Богатырева А.А.

Научный руководитель: А.В. Степура
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В КНИТУ-КАИ на кафедре РФМТ проводились экспериментальные исследования воздействия низкоинтенсивных электромагнитных полей КВЧ диапазона на клубни картофеля, с целью стимуляции ростовых процессов и физиологических параметров развития роста растений картофеля.

Обзор литературных данных. Все живые организмы развивались и претерпевали эволюционные изменения на нашей планете под воздействием различных физических факторов, и в первую очередь: это ЭМП различных частотных диапазонов. В процессе эволюции клетки всевозможных живых систем приспосабливались к влиянию данных физических факторов на их жизнедеятельность, сами выработали различные механизмы использования энергии данных физических процессов, как например, такой важный, необходимый для метаболизма растительных клеток, процесс как фотосинтез и энергия ультрафиолетового излучения Солнца. С этой точки зрения ЭМП КВЧ диапазона не является исключением для живых организмов, существовавших миллионы лет назад. Вследствие изменения состава химических элементов, и их процентного содержания, атмосферы нашей планеты, произошедшего после тех далёких времён эволюции всего живого, затухание космического (реликтового) электромагнитного излучения в КВЧ диапазоне сильно возросло. Однако, данное ЭМП некоторых, узкополосных спектров КВЧ диапазона по прежнему остаётся просто необходимым для нормального функционирования систем жизнеобеспечения живых организмов [1].

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

Цель и задачи исследования. Целью данных (настоящих) экспериментов является определение (нахождении) наилучших режимов предпосевной обработки, в результате которой наблюдается (наибольшее) максимальное проявление роста и развитие картофельного куста, и, как следствие, повышение урожайности данной культуры.

К задачам данной исследовательской работы непременно относятся изучение влияния обработки клубней и ростков картофеля электромагнитным полем крайневисокочастотного (КВЧ) диапазона, имеющей различные режимы, а именно: различные продолжительности и интенсивности своего воздействия; проанализировать изменения значений морфофизиологических показателей прорастающих ростков картофеля.

Материалы и методы. Для проведения экспериментов использовали клубни картофеля, среднее раннего столового назначения с белой мякотью сорта «Невский». Содержание крахмала в клубнях этого картофеля 10-12%, является устойчивым к таким болезням как рак, картофельная нематода, ризоктониоз и черной ножке. Все клубни картофеля сорта «Невский» были разделены на пять групп по 8 клубней в каждой группе. Воздействию НИ ЭМП КВЧ – диапазона подвергались одновременно каждые 8 клубней в течение, определённого для каждой группы, времени. Обработка клубней картофеля излучением прибора «Явь-1», с длиной волны 7,1 мм производилась в непрерывном режиме в течение 40 минут для 1-ой группы, 30 минут для 2-ой группы, 20 минут для 3-й группы, 10 минут для 4-ой группы, которые были удалены на расстоянии от излучателя на 25 см, 5 группа являлась контролем. Из каждого обработанного клубня вырезали росток вместе мякотью с равным по массе для всех клубней в 3,6 г. рассаживали в специализированные ящики для рассады. Земля для посадки клубней картофеля была предварительно подвергнута термической обработке в микроволновой печи в течение 3-х в режиме работы микроволновой печи на высокой мощности, с мощностью ЭМП в ее рабочей камере 750 Вт. Полив производился через каждые 3 дня по 150 мл воды на каждую группу. После определенного периода времени

был проведен трехкратный повтор с целью подтверждения или опровержения результатов.

Результаты исследований и их обсуждение: Результат роста можно пронаблюдать на рисунке 1

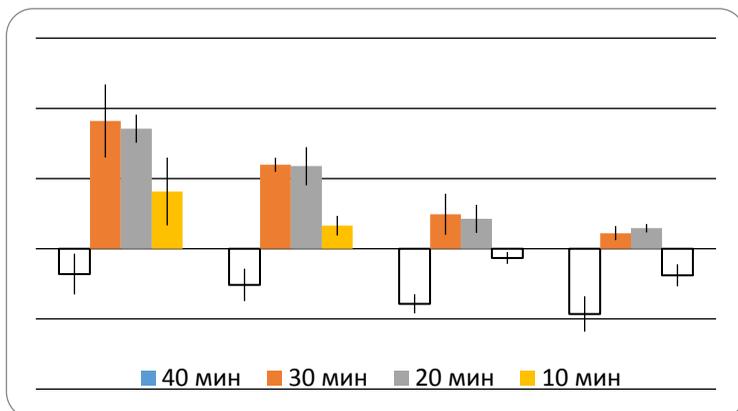


Рис. 1. Изменение среднего значения стеблей групп растений картофеля обработанных ЭМП относительно контрольной группы (%)

Анализируя результаты проведенных данных лабораторных исследований о влиянии однократной предпосевной обработки клубней и ростков картофеля ЭМП с частотой 42,25 ГГц на активность ростовых процессов и физиологические параметры можно сделать следующие выводы:

Наилучшие результаты позволяет получить предпосевная обработка ЭМП КВЧ диапазона в течение 30 и 20 минут, которые, в свою очередь, приводят к стимуляции ростовых процессов стеблей картофеля. Излучение в течение 40 минут приводит к ингибированию роста ростков: значительное снижение темпа прорастания. При 10 минутной обработке излучение оказывает незначительное угнетающее действие.

Наибольшую массу ростков растений картофеля и количество лепестков на стеблях так же показала обработка в течение 30 и 20 минут соответственно. Увеличение экспозиции облучения до 40 мин приводит к значительному снижению массы и уменьшению

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

количества лепестков относительно показателей контрольной группы.

Полученные результаты дают возможность предположить, что изменения процесса прорастания при облучении (угнетение или активация) напрямую зависят от параметров излучения. Снижение показателей прорастания при 10 минутной возможно, связано с развитием первой стадии фитостресса, согласно выводам Калье М.И. в [2], которая сопровождается торможением анаболических, но усилением катаболических процессов. Повышение энергии прорастания при усилении воздействия (40 мин облучения), вероятно, связано развитием второй стадии фитостресса и адаптацией растения к физическому воздействию.

Список литературы

1. *Девятков Н.Д.* Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности// М.: Радио и связь, 1991. – 168 с
2. *Калье М.И.* Влияние КВЧ-излучения на морфофизиологические показатели и активность ферментов прорастающих семян зерновых культур: дис. канд. техн. наук // Москва, 2011, – 119 с.

**RESEARCH EFFECT OF EHF EMP
ON THE ACTIVITY OF GROWTH PROCESSES
AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF POTATOES**

Bogatyreva A.

Supervisor: A. Stepura

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

In the KNITU-KAI at the RFMT department, experimental studies of the effect of low-intensity electromagnetic fields of the EHF range on potato tubers were conducted to stimulate growth processes and physiological parameters for the development of potato plant growth.

УДК 621.365.55

НАПРЯЖЕННОСТЬ ПОЛЯ СИММЕТРИЧНОГО ВИБРАТОРА ПРИ ПЕРЕДАЧИ ШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

Васильев Е.В.

Научный руководитель: Д.А. Веденькин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Широкополосные и сверхширокополосные сигналы находят все большее применение в современной антенной технике и различных радиотехнических системах. Традиционные оценки характеристик антенн, работающих с узкополосными сигналами не всегда должным образом отражают свойства широкополосных антенн, хотя бы ввиду наличия частотной зависимости диаграммы направленности антенны. Следовательно важным является оценка характеристик антенн с учетом спектрального состава сигнала, а также учитывая способы его обработки в приемной аппаратуре [1, 2, 3, 4].

Напряженность поля симметричного вибратора при передаче широкополосного сигнала

При излучении антенной сверхширокополосного радиосигнала со спектром $G(f)$ напряженность электрического поля, излучаемого антенной в направлении (θ, φ) можно представить как [1, 2, 10, 11]:

$$E(\theta, \varphi, f) = F(\theta, \varphi, f) \cdot G(f) \quad (1)$$

Рассмотрим изменение напряженности электрического поля, излучаемого антенной в направлении (θ, φ) , от спектра сигнала [5, 6, 7, 8, 9, 12]:

1) В первом случае будет рассмотрен простейший спектр $G(f) = f$, в этом случае напряженность поля в точке увеличивается линейно частоте спектра $G(f)$. При этом диаграмма направленности не изменяет свой вид (рис. 1).

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

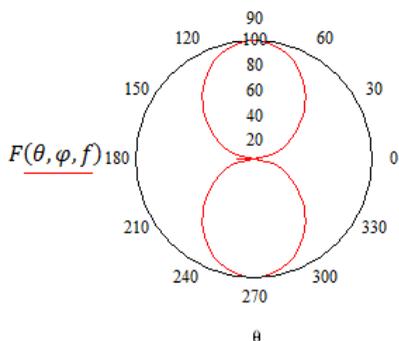


Рис. 1. Напряженность поля симметричного вибратора со спектром $G(f) = 100$ Гц.

2) Во втором случае рассмотрен треугольный спектр $G(f)$ (рис. 2). В этом случае напряженность поля в точке увеличивается с увеличением частоты спектра $G(f)$. При этом диаграмма направленности изменяет свой вид (рис. 5).

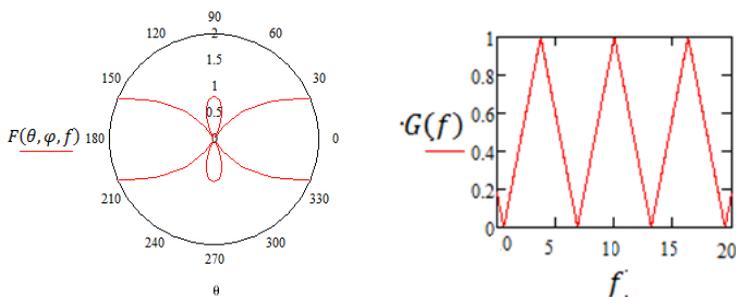


Рис. 2. Напряженность поля симметричного вибратора с треугольным спектром $G(f)$ на частоте $f = 1$ ГГц

3) В третьем случае рассмотрен прямоугольный спектр $G(f)$ (рис. 6). В этом случае напряженность поля в точке увеличивается с увеличением частоты спектра $G(f)$. При этом диаграмма направ-

ленности имеет вид как у треугольного спектра, но с большей амплитудой (рис. 3).

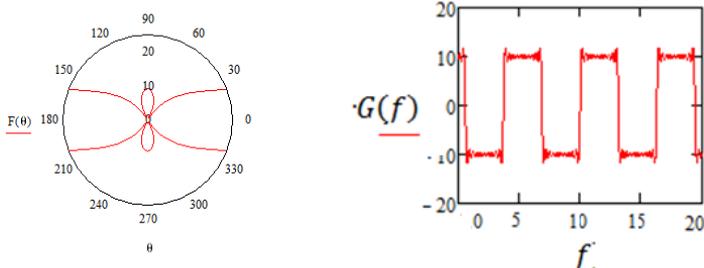


Рис. 3. Напряженность поля симметричного вибратора с прямоугольным спектром $G(f)$ на частоте $f = 1$ ГГц

Список литературы

1. Ведынкин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток, Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 10 (28). С. 56–159.
2. Vedenkin D.A., Potapova O.V., Sedelnikov Y.E. Antennas, focused in the near radiated field zone. Features and technical application, 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT 2013 2013. С. 560–565.
3. Седельников Ю.Е., Ведынкин Д.А. Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу, Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 3-1. С. 23–30.
4. Ведынкин Д.А., Седельников Ю.Е., Потанова О.В. Свойства сфокусированных антенн для задач акустической эхолокационной диагностики, Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 10. С. 64–68.
5. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
6. Курушин А.А. Школа проектирования СВЧ устройств в CST STUDIO SUITE. – М., «One-Book», 2014, 433 стр.
7. Ведынкин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусиро-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

ванные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов, Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. № 4. С. 40–46.

8. *Веденькин Д.А.* Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов, Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 5. С. 36.

9. *Седельников Ю.Е., Веденькин Д.А.* Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу, Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 3-1. С. 23–30.

10. *Веденькин Д.А., Насыбуллин А.Р., Седельников Ю.Е.* Случайные разреженные когерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излучённого поля, Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 4 (32). С. 22–29.

11. *Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е.* Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения, Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 1 (29). С. 18–31.

12. *Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е.* Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов, Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86–88.

FIELD STRENGTH OF THE BROADBAND SIGNAL

Vasilev E.

Supervisor: D. Veden'kin,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Broadband and ultra-wideband signals are increasingly used in modern antenna technology, and various radio systems. Traditional performance evalu-

ation antennas operating with narrow band signals are not always adequately reflect the characteristics of broadband antennas, at least in view of the frequency dependence of the antenna pattern. Therefore it is important to evaluate the properties of antennas based on the spectral content of the signal, as well as taking into account the ways of its processing in the receiving equipment.

УДК 621.396.624

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА

Васильев А.В.¹, Григораш О.В.², Лютик К.П.²

*(¹Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н.Туполева – КАИ,*

²НПО «Радиоэлектроника» им. В.И. Шимко, г. Казань)

В данной работе рассматривается применение метода оптического гетеродирования для повышения чувствительности приемного устройства.

Как известно, чувствительность приемного устройства в основном ограничивается двумя факторами:

- усилением приемника, т.е. необходимостью получения на его выходе требуемого $U_{свых}$;
- собственными шумами приемника, т.е. необходимостью получения требуемого отношения $(U_{с}/U_{ш})_{вых}$ [1].

Первое требование в современных приемных устройствах реализуется легко, поскольку в супергетеродинном приемнике можно получить практически любой коэффициент усиления.

Ниже на рисунке представлена типовая структурная схема супергетеродинного приемника.

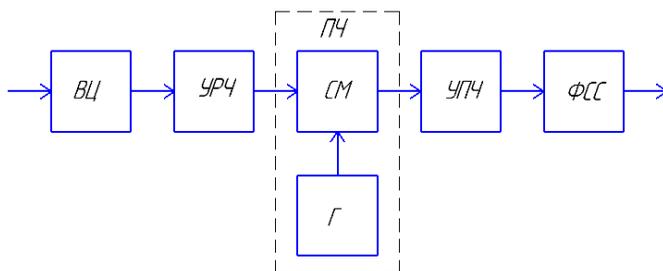


Рис.1. Структурная схема супергетеродинного приемника

Вычислим коэффициент шума такого приемного устройства по известной формуле:

$$N_{\text{общ}} = N_{\text{вц}} + \frac{N_{\text{урч}}-1}{K_{\text{вц}}} + \frac{N_{\text{пч}}-1}{K_{\text{вц}}K_{\text{урч}}} + \frac{N_{\text{упч}}-1}{K_{\text{вц}}K_{\text{урч}}K_{\text{пч}}} + \frac{N_{\text{фсс}}-1}{K_{\text{вц}}K_{\text{урч}}K_{\text{пч}}K_{\text{упч}}};$$

Типовые значения коэффициента усиления и коэффициента шума составных частей приемника:

$$K_{\text{вц}} = 0,7; \quad Ш_{\text{вц}} = 1/0,7 = 1,43;$$

$$K_{\text{урч}} = 10; \quad Ш_{\text{урч}} = 3;$$

$$K_{\text{пч}} = 0,2; \quad Ш_{\text{пч}} = 5;$$

$$K_{\text{упч}} = 8; \quad Ш_{\text{упч}} = 6;$$

$$K_{\text{фсс}} = 0,7; \quad Ш_{\text{фсс}} = 1,43;$$

$$N_{\text{общ}} = 1,43 + \frac{3-1}{0,7} + \frac{5-1}{0,7 \cdot 10} + \frac{6-1}{0,7 \cdot 10 \cdot 0,2} + \frac{1,43-1}{0,7 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 8} = 8,47;$$

Согласно методу оптического гетеродинирования [2], структурная схема приемного устройства с оптической обработкой сигнала будет выглядеть следующим образом:

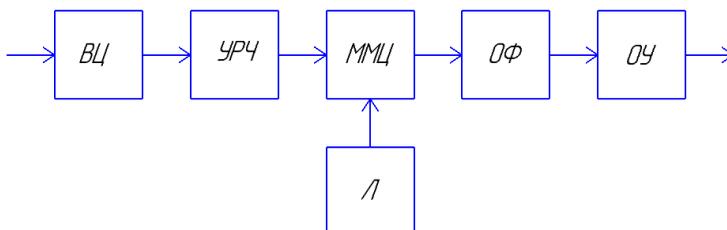


Рис. 2. Структурная схема приемника с оптической обработкой

Где:

-ММЦ – модулятор Маха-Цендера;

-ОФ – оптический фильтр;

-ОУ – оптический усилитель.

Значения коэффициента усиления и коэффициента шума составных частей приемника:

$$K_{\text{вц}} = 0,7; \quad Ш_{\text{вц}} = 1/0,7 = 1,43;$$

$$K_{\text{урч}} = 10; \quad Ш_{\text{урч}} = 3;$$

$$K_{\text{ммц}} = 0,733; \quad Ш_{\text{ммц}} = 3;$$

$$K_{\text{оф}} = 1,43; \quad Ш_{\text{оф}} = 1,43;$$

$$K_{\text{оу}} = 10; \quad Ш_{\text{оу}} = 4;$$

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

$$N_{\text{общ}} = 1,43 + \frac{3-1}{0,7} + \frac{3-1}{0,7 \cdot 10} + \frac{1,43-1}{0,7 \cdot 10 \cdot 0,733} + \frac{4-1}{0,7 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 0,733} = 4,72.$$

Применение метода оптического гетеродирования позволяет преобразовать принимаемый СВЧ сигнал на промежуточную частоту с высоким соотношением сигнал/шум на выходе приемного устройства.

Список литературы

1. *Колосовский Е.А.* Устройства приема и обработки сигналов. Учебное пособие для вузов. – 2007. – 456 с.
2. Труды школы-семинара «Волны-2016». Радиофотоника. Экспериментальное исследование радиофотонного приемного канала на основе оптического гетеродирования в диапазоне частот порядка 10 ГГц.
3. *Белюсов А.А., Вольхин Ю.Н., Гамиловская А.В., Дубровская А.А., Тихонов Е.В.* «О применении методов и средств радиофотоники для обработки сигналов дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн».

**APPLICATION OF OPTICAL
SIGNAL PROCESSING TO INCREASE
THE SENSITIVITY OF THE RECEIVING DEVICE**

Vasilev A.V.¹, Grigorash O.V.², Lyutik K.P.²

*(¹Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, ²Shimko Scientific
production association “Radio electronics”, Kazan)*

In this work, the application of the optical heterodyning method is considered to increase the sensitivity of the receiving device.

УДК 621.396.96

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЯ С ПОВОРОТОМ ФАЗЫ

Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е., Ишкаев Т.М.

Научный руководитель: Д.А. Веденькин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данном тезисе представлена разработка делителя. Данный делитель осуществляет разворот фазы, т.е. на выходах делителя сигналы находятся в противофазе.

Для проведения исследований был смоделирован делитель, на выходе которого сигналы находятся в противофазе (рис. 1). Делитель изготовлен из волновода 90x45. Данный волновод работает на частоте 2,4 ГГц.

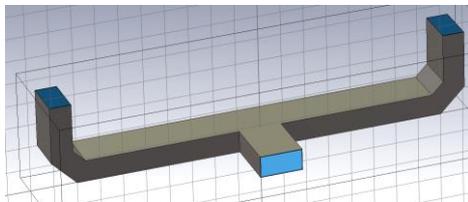


Рис. 1. Внешний вид делителя

После создания модели делителя был оценен коэффициент передачи со входа на выходы (рис. 3 а), он составил -4,8 dB.

На высоте 2λ над делителем был установлен приемный порт. Полученная структура изображена на рис. 2. Коэффициент отражения и передачи на приемном порте составили -7,8 dB и -192 dB соответственно (рис. 4).

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

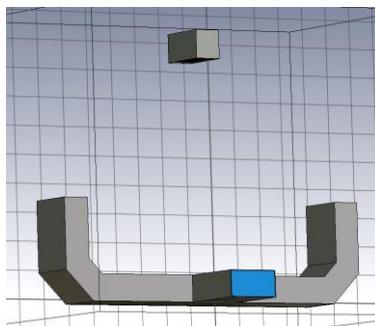
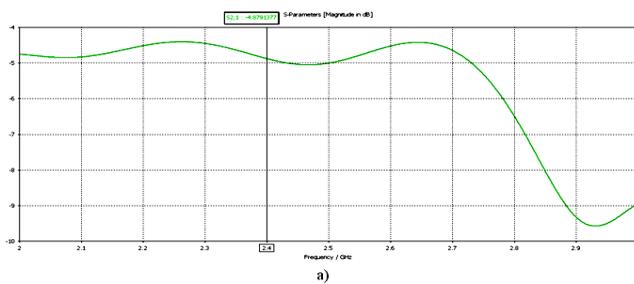
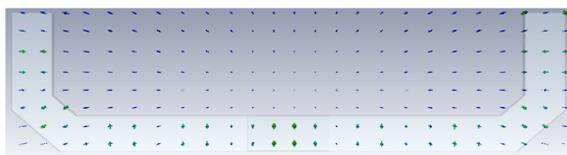


Рис. 2. Общий вид установки



а)



б)

Рис. 3. а) коэффициент передачи;
б) противозадное распространение Е-поля в делителе

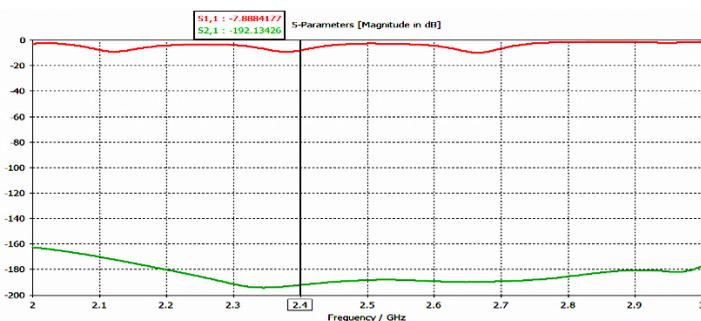


Рис. 4. Коэффициент отражения и передачи для установки

В дальнейшем между одним из выходов делителя и приемным портом был расположен лист из идеального проводника размерами 400x400 мм и толщиной 5 мм (рис. 5), для того чтобы проверить как повлияет внесение неоднородностей между делителем и приемным портом. Полученные коэффициенты отражения и передачи составили -8,6 dB и -33 dB соответственно (рис. 6).

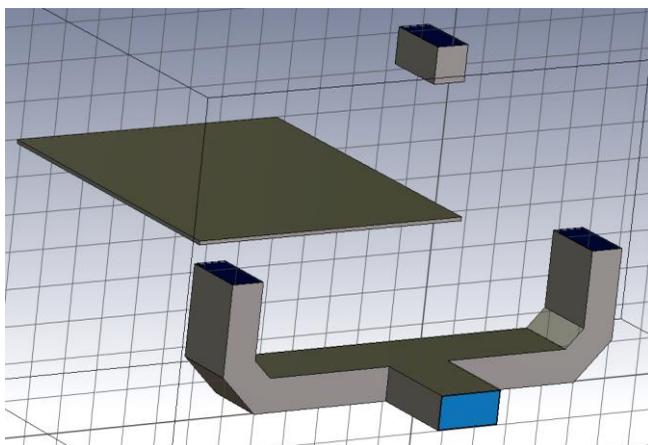


Рис. 5. Общий вид установки с листом идеального проводника

Так как на выходах делителя сигналы находятся в противофазе, то при закрытии одного выхода делителя листом из проводника коэффициент передачи увеличивается, за счет снижения пере-

дачи накрытого выхода.

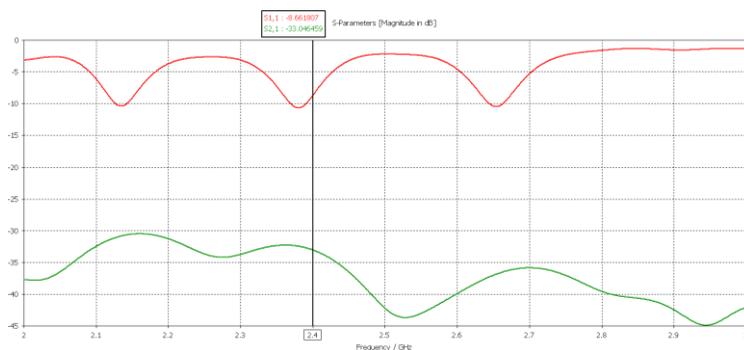


Рис. 2.39. Коэффициенты отражения и передачи
с портом закрытым идеальным проводником

Список литературы

1. *Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарёв Л.И.* Устройства СВЧ и антенны. «Радиотехника», 2006. – 376 с.
2. *Римский-Корсаков А. В.* Электроакустика. «Связь», 1973. – 272 с.
3. *Чернышев В.П., Шейнман Д.И.* Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн, «Связь», 1973. – 531 с.
4. *Белоцерковский Г.Б.* Основы радиотехники и антенны. Советское радио, 1969. — 432 с.
5. *Веденькин, Д.А.* Анализ характеристик частотно-селективных поверхностей с распределенными СВЧ структурами / Т.М. Ишкаев, Д.А. Веденькин, Д.Е. Шаронов // В сборнике: Международная молодежная научная конференция «XXII Туполевские чтения (школа молодых ученых)» материалы конференции сборник докладов. Российский фонд фундаментальных исследований, Казанский национальный исследовательский технический университет им. АН. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ). Казань, 2015. С. 630–634.
6. *Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е., Ишкаев Т.М.* Создание модели антенны для исследования характеристик управляемой ча-

стотно-селективной поверхности // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли» (АКТО-2016) : тез докл. Всероссийской науч.-практ. конф., Казань, 10-12 августа 2016г. – Казань : Изд-во Академии наук РТ, 2016 – Т.2. с.394-397

PHASE DIVIDER DESIGN

Vedenkin D., Shaonov D., Ishkaev T.

Supervisor: D. Vedenkin

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

In this thesis, the development of a divider is presented. This divider performs a phase reversal, i.e. At the outputs of the divider, the signals are in anti-phase.

УДК 621.396.96

«РАЗНОСТНАЯ» МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е., Ишкаев Т.М.

Научный руководитель: Д.А. Веденькин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева–КАИ, г. Казань)

В данном тезисе представлено сравнение частотно-селективных поверхностей «разностным» методом. Сравнение осуществляется посредством применения делителя с поворотом фазы.

Частотно-селективные поверхности (ЧСП) часто используются в качестве экранов, для решения задач электромагнитной совместимости и т.д.

Электродинамические свойства различных частотно-селективных поверхностей (ЧСП) характеризуются коэффициентами отражения R и прохождения T , которые определяются через значения полей, отраженных или прошедших через ЧСП, на значительном удалении от поверхности. Можно выделить два характерных вида ЧСП:

1. В виде системы отдельных резонансных элементов.
2. Двойные сетчатые поверхности.

Над одним выходом делителя была расположена базовая поверхность, которая состоит из диэлектрика, размерами 400x400x5 мм. Общий вид установки представлен на рисунке 1.

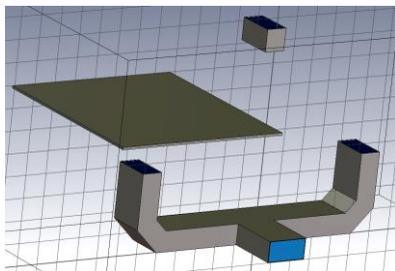


Рис. 1. Общий вид установки

Полученные коэффициенты отражения и передачи составили -8 dB и -50,1 dB соответственно (рис. 2)

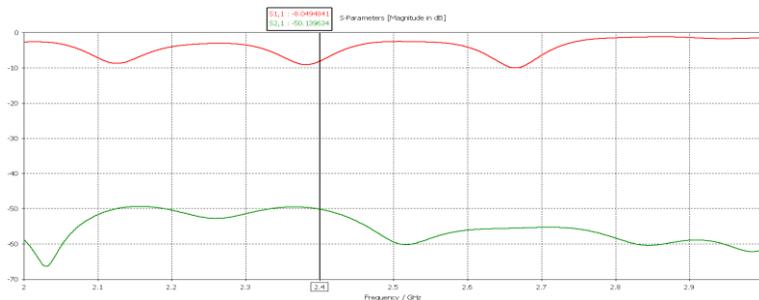


Рис. 2. Коэффициенты отражения и передачи через базовую поверхность

В лист диэлектрика были внедрены полоски из токопроводящего материала длиной $\lambda/4$ (рис. 3). Длина полосков составила 31,25 мм, ширина 4 мм, а толщина 0,5 мм. Расстояние между ними, а также боковой интервал составляют $\lambda/4$. В последующих экспериментах при изменении длины полоска изменяется расстояние между ними и боковой интервал, соответственно их длине.

Коэффициенты отражения и передачи (рис. 4) составили -8,4 dB и -39,6 dB соответственно.

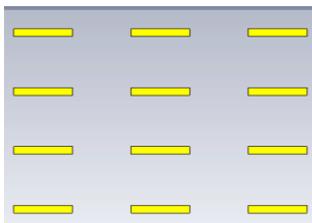


Рис. 3. Вид и расположение неоднородностей длиной $\lambda/4$ в базовой поверхности

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

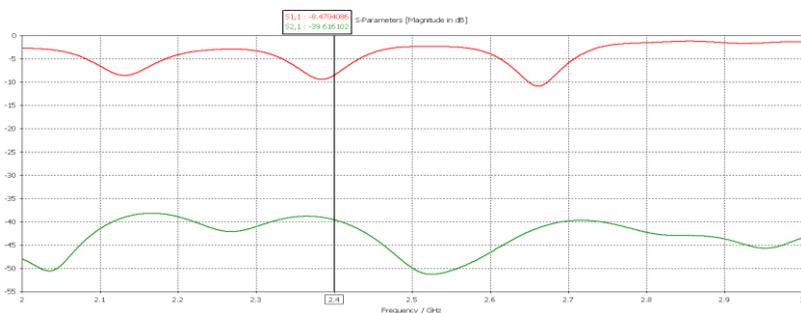


Рис. 4. Коэффициенты отражения и передачи через ЧСП с неоднородностями длиной $\lambda/4$ в базовой поверхности

Была изменена длина неоднородностей в ЧСП с $\lambda/4$ на $\lambda/8$. Соответственно расстояние и боковой интервал между ними также были изменены на $\lambda/8$. Полученные коэффициенты отражения и передачи (рис. 5) составили $-8,3$ dB и $-42,2$ dB соответственно.

Затем была изменена длина неоднородностей в ЧСП с $\lambda/8$ на $\lambda/2$. Соответственно расстояние и боковой интервал между ними также были изменены на $\lambda/2$. Полученные коэффициенты отражения и передачи (рис. 6) составили $-7,3$ dB и $-42,9$ dB соответственно.

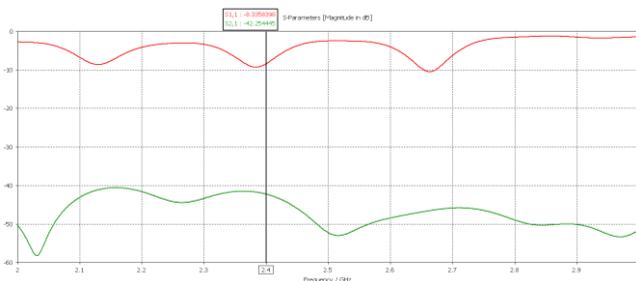


Рис. 2.43. Коэффициенты отражения и передачи через ЧСП с неоднородностями длиной $\lambda/8$ в базовой поверхности

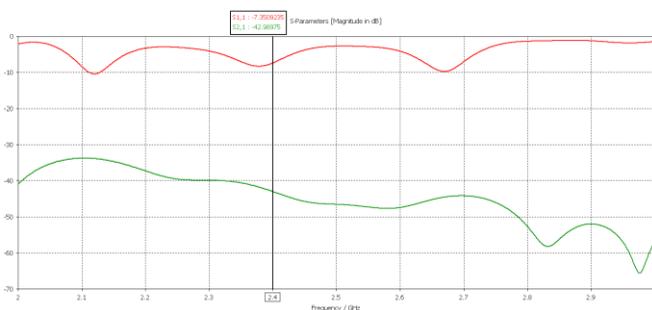


Рис. 2.44. Коэффициенты отражения и передачи через ЧСП с неоднородностями длиной $\lambda/2$ в базовой поверхности

В данном тезисе была рассмотрена «разностная» модель, исследования проводились с применением делителя, на выходах которого сигналы находятся в противофазе. Таким образом можно оценить эффект исследуемой частотно-селективной поверхности.

Список литературы

1. *Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарёв Л.И.* Устройства СВЧ и антенны. «Радиотехника», 2006. – 376 с.
2. *Белоцерковский Г.Б.* Основы радиотехники и антенны. Советское радио, 1969. — 432 с.
3. *Веденькин, Д.А.* Анализ характеристик частотно-селективных поверхностей с распределенными СВЧ структурами / Т.М. Ишкаев, Д.А. Веденькин, Д.Е. Шаронов // В сборнике: Международная молодежная научная конференция «XXII Туполевские чтения (школа молодых ученых)» материалы конференции сборник докладов. Российский фонд фундаментальных исследований, Казанский национальный исследовательский технический университет им. АН. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ). Казань, 2015. С. 630–634.
4. *Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е., Ишкаев Т.М.* Создание модели антенны для исследования характеристик управляемой частотно-селективной поверхности // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

«Новые технологии, материалы и оборудование российской авиакосмической отрасли» (АКТО-2016) : тез докл. Всероссийской науч.-практ. конф., Казань, 10-12 августа 2016г. – Казань : Изд-во Академии наук РТ, 2016 – Т. 2. с. 394-397

**"DIFFERENCE" MODEL FOR ESTIMATING
THE PROPERTIES OF A FREQUENCY-SELECTIVE SURFACE**

Vedenkin D., Shaonov D., Ishkaev T.

Supervisor: D. Vedenkin

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

In this thesis, comparison of frequency-selective surfaces by a "difference" method is presented. The comparison is carried out by applying a divider with phase rotation.

УДК 621.391

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ
СХЕМЫ АМФК-ФКАМ КАНАЛА КВАНТОВОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ С ЧАСТОТНЫМ
КОДИРОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ
МОДУЛЯЦИИ ФОТОНА**

Габдулхаков И.М.

Научный руководитель: О.Г. Морозов, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Технология частотного кодирования в каналах квантового распределения ключей позволяет определить основное состояние фотонов через значение амплитуды его несущей частоты, модулированной по фазе или амплитуде радиочастотным сигналом, и полученных боковых составляющих. За последние двадцать лет она была существенно модифицирована и улучшена. При этом в последних работах, используется расширенное понимание принципа частотного кодирования, при котором каждому состоянию фотона ставится в соответствие не фаза модулирующего сигнала на некоторой частоте, а одна или несколько частот боковых составляющих, либо сама несущая частота фотона.

В основе работы АМФК-ФКАМ системы КРК с частотным кодированием лежит модуляционное преобразование несущей фотона на основе метода Ильина-Морозова и его одно- и двухмодуляторных реализаций [1]. Для моделирования схемы и проведения проектных оценок были использованы принципы построения однопортового модуляционного радиофотонного звена последовательного типа, предложенного нами в [2], и фотонного моделирования электрооптических модуляторов [3].

Использование метода Ильина-Морозова для перехода $P(\omega_0 \rightarrow \omega_0 \pm n\Omega)$, где n – номер гармоники, позволит получить:

– высокую эффективность перехода оптической несущей в боковые составляющие (до 0,6-0,8 по амплитуде для каждой из них);

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

– высокий уровень спектральной чистоты выходного излучения фотона на выходе АФМК модуля при оптимальных параметрах преобразования (при отклонении параметров от оптимальных до 10% коэффициент нелинейных искажений составит 0,01);

– возможность работы как с целыми компонентами боковых частот ($n \geq 1$), так и дробными ($n/2$, при $n \geq 1$), что позволит повысить уровень криптографической защиты системы связи в случае обнаружении Евой канала синхронизации и получении ей доступа к данным принятым Бобом;

– возможность формирования асимметричной системы с полностью пассивной фильтрацией данных, переданных Алисой, на стороне Боба без ремодуляции.

Поясним два последних утверждения. Для этого выберем два базиса для частотного кодирования состояния фотонов при АМФК и поясним порядок их получения и покажем их реализацию с помощью рисунка 1.

$$\left\{ \begin{array}{l} |+\rangle; 1\rangle = |1\rangle_{\omega_0} \\ |-\rangle; 1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |1\rangle_{\omega_0+\Omega} - \frac{1}{\sqrt{2}} |1\rangle_{\omega_0-\Omega} \\ |+\rangle; 2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |1\rangle_{\omega_0+\Omega/2} - \frac{1}{\sqrt{2}} |1\rangle_{\omega_0-\Omega/2} \\ |-\rangle; 2\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |1\rangle_{\omega_0+3\Omega/2} - \frac{1}{\sqrt{2}} |1\rangle_{\omega_0-3\Omega/2} \end{array} \right. \quad (1)$$

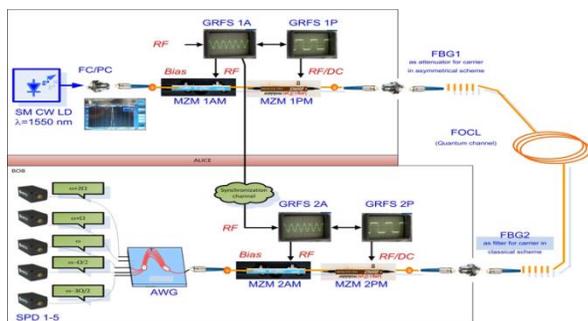
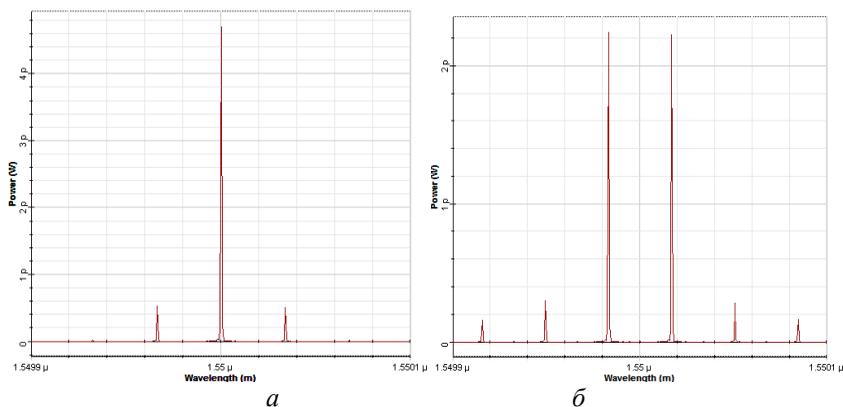


Рис. 1. Моделирование канала КРК с частотным кодированием по схеме АМФК-ФКАМ

Состояние $|+; 1\rangle$ представляет собой немодулированный фотон, передаваемый от CW лазера, через открытые модуляторы MZM Алисы – амплитудный 1AM и фазовый 2AM; состояние $|−; 1\rangle$ определяется при амплитудной модуляции на стороне Алисы напряжением с частотой Ω в «нулевой» рабочей точке и при отсутствии фазовой коммутации; состояние $|+; 2\rangle$ кодируется при работе 1AM на линейном участке напряжением с частотой Ω и коэффициентом амплитудной модуляции $m=0,55$ при дальнейшей фазовой коммутацией $0/\pi$ с частотой $\Omega/2$ в 1PM; состояние $|−; 2\rangle$ описывается боковыми составляющими, полученными при параметрах фазовой коммутации с частотой $3\Omega/2$, либо с частотой $\Omega/2$, но при работе 1AM в максимальной точке модуляционной характеристики с аргументом функции Бесселя, равном 2,405. Управление параметрами амплитудной модуляции выполняет генератор специальных функций GRFS 1A, фазовой коммутации – GRFS 1P с соответствующим изменением функций.

Как видно из пояснений к рис. 3 все четыре состояния фотонов могут быть пассивно выделены с помощью системы фильтров (показаны на стороне Боба), настроенных соответственно на частоты $\omega_0 \rightarrow |+; 1\rangle$, $\omega_0 \pm \Omega/2 \rightarrow |+; 2\rangle$, $\omega_0 \pm \Omega \rightarrow |−; 1\rangle$, $\omega_0 \pm 3\Omega/2 \rightarrow |−; 2\rangle$. Таким образом может быть построена ассиметричная система АМФК-ВБР/УВР, где ВБР/УВР – система фильтров, подключенных к ОФП (SPD).

Варианты конструктивной АМ интерференции показаны на рисунке 2 в случае конструктивной ФК.



ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

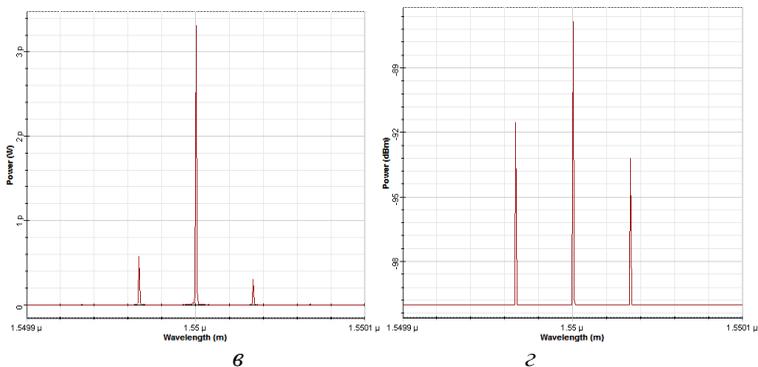


Рис. 2. Варианты конструктивной интерференции при совпадении параметров АМ и ФК на стороне Алисы и Боба: результаты АМ (а) и ФК (б) на выходе модуляторов на стороне Алисы, результаты ФК (в) и АМ (г) на выходе модуляторов на стороне Боба

Полученные на экспериментальной установке сигналы для состояний $|-\rangle$; $|1\rangle$ и $|+\rangle$; $|2\rangle$ показаны на рисунке 3.



Рис. 3. Варианты кодирования состояний фотонов $|-\rangle$; $|1\rangle$ (а) и $|+\rangle$; $|2\rangle$ (б)

Вариант реализации симметричной структуры АМФК-ФКАМ в принципе может реализовать и базис (1) с пассивным выделением состояний $|\pm\rangle$; $|2\rangle$, и активной рекоммутацией и ремодуляцией при определении состояний $|\pm\rangle$; $|1\rangle$. Управление параметрами фазовой рекоммутации выполняет GRFS 2P с соответствующим изменением функций. Дополнительное введение стадий коммутации и рекоммутации позволит существенно повысить эффективность преобразования оптической

несущей, повысить отношение сигнал/шум принимаемых сигналов и сократить полосу частот, занимаемую боковыми составляющими, на 25%, уже на стороне Боба, но не в квантовом канале. Данные утверждения сделаны на основе близких исследований по указанным параметрам, представленным в [3-5].

Список литературы

1. Ильин, Г.И. ЛЧМ-лидар с преобразованием частоты / Г.И. Ильин, О.Г. Морозов, Ю.Е. Польский // Оптика атмосферы и океана. – 1995. – Т. 8. – № 12. – С. 1871–1874.
2. Морозов, О.Г. Оптико-электронные системы измерения мгновенной частоты радиосигналов с амплитудно-фазовым модуляционным преобразованием оптической несущей / О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, М.Р. Нургазизов, А.А. Талипов // Прикладная фотоника. – 2014. – № 2. – С. 5–23.
3. Capmany, J. Quantum modelling of electro-optic modulators / J. Capmany, C.R. Fernandez-Pousa // Laser Photonics Rev. 5. – 2011. – № 6. P. 750–772.
4. Gleim, A.V. Secure polarization-independent subcarrier quantum key distribution in optical fiber channel using BB84 protocol with a strong reference / A.V. Gleim, V.I. Egorov, Y.V. Nazarov, et al. // Opt. Express. – 2016. – Vol. 24, is. 3. – P. 2619–2633.
5. Kumar, K.P. Optical modulation schemes for frequency-coded quantum key distribution / K.P. Kumar // IEEE National Conference on Communications. – 2010. – P. 1–5.

EVALUATION OF POSSIBILITY OF IMPLEMENTATIONSCHEMES OF AMPK-PKAM CHANNEL OF QUANTUM DISTRIBUTION OF KEYS WITH FREQUENCY CODING ON THE BASIS OF AMPLITUDO-PHASE MODULATION OF PHOTON

Gabdulkhakov I.

Supervisor: O. Morozov, Ph.D., prof.
(Kazan National Research Technical

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

The technology of frequency coding in channels of quantum key distribution allows to determine the ground state of photons through the value of the amplitude of its carrier frequency, modulated in phase or amplitude by a radio-frequency signal, and the obtained side components. Over the past twenty years, it has been substantially modified and improved. At the same time, in recent works, an expanded understanding of the principle of frequency coding is used, in which each photon state is associated not with the phase of the modulating signal at a certain frequency, but with one or more frequencies of the side components or the carrier frequency of the photon itself.

УДК 621.391

**РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯЦИОННЫХ СХЕМ КРК
С ЧАСТОТНЫМ КОДИРОВАНИЕМ, КАНАЛА
КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ
С ЧАСТОТНЫМ КОДИРОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ
АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ ФОТОНА**

Габдулхаков И.М.

Научный руководитель: О.Г. Морозов, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Технология частотного кодирования в каналах квантового распределения ключей позволяет определить основное состояние фотонов через значение амплитуды его несущей частоты, модулированной по фазе или амплитуде радиочастотным сигналом, и полученных боковых составляющих. За последние двадцать лет она была существенно модифицирована и улучшена. При этом в последних работах, используется расширенное понимание принципа частотного кодирования, при котором каждому состоянию фотона ставится в соответствие не фаза модулирующего сигнала на некоторой частоте, а одна или несколько частот боковых составляющих, либо сама несущая частота фотона.

Опираясь на хронологию развития систем КРК с частотным кодированием рассмотрим реализацию различных модуляционных схем. Два основных протокола, которые используются для их построения, это протоколы BB84 и B92.

Алиса подготавливает и пересылает Бобу множество случайных кубитов, выбираемых из четырех основных состояний:

$$\begin{cases} |\Psi_0\rangle = |0\rangle \\ |\Psi_1\rangle = |1\rangle \\ |\Psi_+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} [|0\rangle + |1\rangle] \\ |\Psi_-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} [|0\rangle - |1\rangle] \end{cases} \cdot \quad (1)$$

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

Два первых состояния в (1) формируют один базис квантовой двумерной системы, два вторых – второй. При этом необходимо выполнение условий $\langle \psi_0 | \psi_1 \rangle = 0$ и $\langle \psi_+ | \psi_- \rangle = 0$, соответствующих скалярному произведению их составляющих. В то же время указанные состояния из разных базисов не ортогональны и максимально перекрываются. Следовательно, не существует такой измерительной процедуры, при которой со 100% вероятностью Евой (нелегальный приемник) определяется то состояние, которое было подготовлено Алисой и отослано к Бобу [1].

Протокол В92 является модернизацией протокола ВВ84, в котором для кодирования используется один из двух представленных в (1) базисов.

Схема АМ-АМ (электрооптические модуляторы). Схема АМ-АМ использует протокол ВВ84 [2]. Для реализации протокола ВВ84 устанавливаются два базиса

$$\begin{cases} | +; 1 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} | 1 \rangle_{\omega_0} + \frac{1}{2} | 1 \rangle_{\omega_0 + \Omega} - \frac{1}{2} | 1 \rangle_{\omega_0 - \Omega} \\ | -; 1 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} | 1 \rangle_{\omega_0} - \frac{1}{2} | 1 \rangle_{\omega_0 + \Omega} + \frac{1}{2} | 1 \rangle_{\omega_0 - \Omega} \\ | +; 2 \rangle = | 1 \rangle_{\omega_0} \\ | -; 2 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} | 1 \rangle_{\omega_0 + \Omega} - \frac{1}{\sqrt{2}} | 1 \rangle_{\omega_0 - \Omega} \end{cases} \quad (2)$$

В этом случае состояния $| +; 2 \rangle$ и $| -; 2 \rangle$ детерминируются с помощью обычной фильтрации без использования модуляции, что свидетельствует и о самом низком значении QBER. При передаче состояния $| +; 1 \rangle$ также срабатывает только ОФП боковых полос, поскольку при заданных параметрах модуляции и ремодуляции составляющая на частоте ω_0 равна 0. Уровень ошибки при передаче состояния $| -; 1 \rangle$ составляет 4,7%. Устранение данного недостатка было реализовано в схемах АМ-АМ.

Для ее реализации в нашей системе, представленной на рисунке 1, на стороне Алисы используется СВ лазер, амплитудный модулятор АМ в режиме модуляции на линейном участке, для чего к модулятору приложено постоянное смещение $\text{Bias} = 0$ (усл. ед.) и модулирующее радиочастотное напряжение частотой 4,2 ГГц. На стороне Боба также

используется АМ, работающий на линейном участке и первичный фильтр для выделения частот ω_0 и $\omega_0 \pm \Omega$, установленных перед соответствующими однофотонными приемниками (ОФП, на рисунке 1 не показаны).

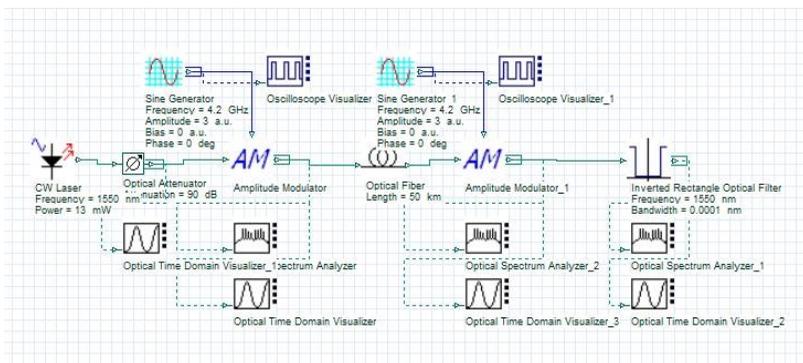
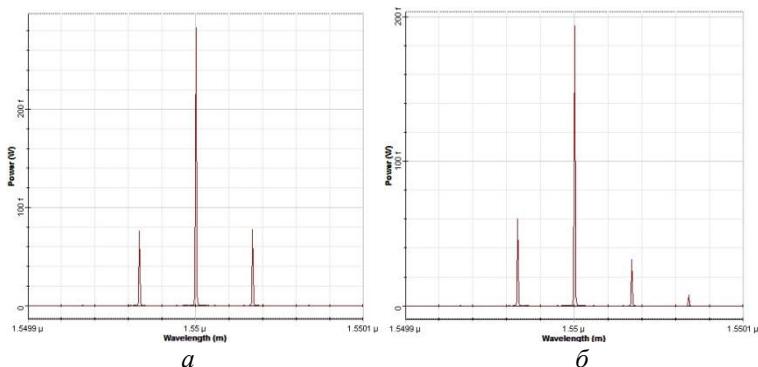


Рис. 1. Моделирование канала КРК с частотным кодированием по схеме АМ-АМ

Следует отметить, что модулятор на стороне Алисы модулирует по закону $\cos(\Omega t + \Phi_A)$, а на стороне Боба – $\sin(\Omega t + \Phi_B)$. Эффективность перехода $P(\omega_0 \rightarrow \omega_0 \pm \Omega)$ в этом случае пропорциональна функции $\cos^2(\Delta\Phi/2)$ и $\sin^2(\Delta\Phi/2)$ для нижней и верхней боковых полос соответственно при $\Phi_A = \pi/2$ и $\Phi_B = 3\pi/2$. Различные варианты конструктивной и деструктивной модуляции показаны на рисунке 2.



ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

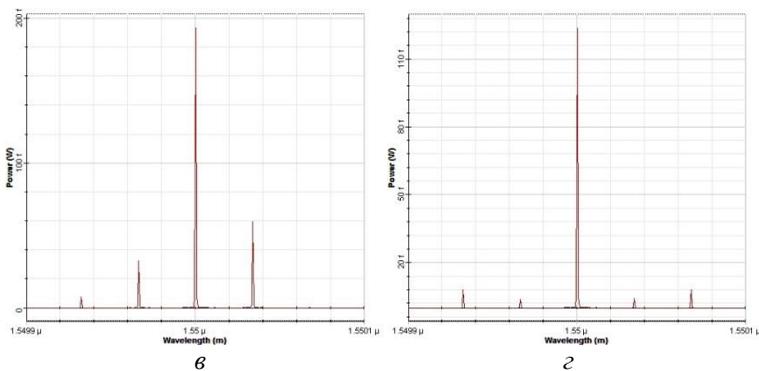


Рис. 2. Варианты конструктивной и деструктивной интерференции на стороне Боба:
конструктивная $\Delta\Phi=\pi$ (а) и деструктивная $\Delta\Phi=\pi/2$ (б), $\Delta\Phi=3\pi/2$ (в);
 $\Delta\Phi=0$ (г) интерференция при фазе сигнала Алисы $\Phi_A=3\pi/2$

Список литературы:

1. *Ruiz-Alba, A.* Practical quantum key distribution based on BB84 protocol / A. Ruiz-Alba, D. Calvo, V. Garcia-Munoz, A. Martinez, W. Amaya, J.G. Roza, J. Mora, J. Capmany // *Waves*. – 2011. – No 3. – P. 4–14.
2. *Scarani, V.* The security of practical quantum key distribution / V. Scarani, H. Bechmann-Pasquinucci, N.J. Cerf, N. Lütkenhaus, M. Peev // *Reviews of modern physics*. – 2009. – Vol. 81. – P. 1301–1310.
3. *Muller, A.* Experimental demonstration of quantum cryptography using polarized photons in optical fiber over more than 1 km / A. Muller, J. Breguet, N. Gisin // *Europhys. Lett.* – 1993. – Vol. 23. – P. 383–388.
4. *Zbinden, H.* Interferometry with Faraday mirrors for quantum cryptography / H. Zbinden, J. D. Gautier, N. Gisin, B. Huttner, A. Muller, W. Tittel // *Electron. Lett.* – 1997. – Vol. 33. – P. 586–588.
5. *Inoue, K.* Differential phase shift quantum key distribution / K. Inoue, E. Waks, Y. Yamamoto // *Phys. Rev. Lett.* – 2002. – Vol. 89. – P. 037902.
6. *Duraffourg, L.* Compact transmission system using single-sideband modulation of light for quantum cryptography / L. Duraffourg,

J.-M. Merolla, J.-P. Goedgebuer, Y. Mazurenko, W.T. Rhodes // Opt. Lett. – 2001. – Vol. 26. – No 18. – P. 1427–1429.

7. Dixon, A.R. Gigahertz decoy quantum key distribution with 1 Mbit/s secure key rate / A.R. Dixon, Z.L. Yuan, J.F. Dynes, A.W. Sharpe, A.J. Shields // Opt. Express. – 2008. – Vol. 16. – P. 18790–18799.

**IMPLEMENTATION OF MODULAR SCHEMES
OF QKD WITH FREQUENCY CODING, CHANNEL
QUANTUM DISTRIBUTION OF KEYS WITH
FREQUENCY-BASED CODING ON THE BASIS
AMPLITUDE PHASE MODULATION OF PHOTON**

Gabdulkhakov I.

Supervisor: O. Morozov., Ph.D., prof.

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

The technology of frequency coding in channels of quantum key distribution allows to determine the ground state of photons through the value of the amplitude of its carrier frequency, modulated in phase or amplitude by a radio-frequency signal, and the obtained side components. Over the past twenty years, it has been substantially modified and improved. At the same time, in recent works, an expanded understanding of the principle of frequency coding is used, in which each photon state is associated not with the phase of the modulating signal at a certain frequency, but with one or more frequencies of the side components or the carrier frequency of the photon itself.

УДК 621.365.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОЙ
ОБРАБОТКИ НА ФИТО И ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ
АКТИВНОСТЬ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА
ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР**

Гадельшин Р.М.

Научный руководитель: А. В. Степур

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

В данной работе была разработана методика обработки семян чечевицы электромагнитным полем СВЧ диапазона, с целью стимуляции их посевных свойств.

В основной части были рассмотрены результаты исследовательских работ применения электромагнитных низкоинтенсивных, нетепловых электромагнитных излучений СВЧ диапазона в сельском хозяйстве, проведенные во многих странах мира, представлены результаты и их анализ, проделанных автором лабораторных исследований предпосевной СВЧ обработки семян чечевицы.

Цель и задачи исследования. Цель настоящей работы заключается в исследовании влияния микроволновой предпосевной обработки семян зернобобовых с/х культур на рост и развитие их проростков.

Обзор литературных данных.

Поскольку, речь идет о биологических объектах, каковыми являются зерно, растения и прочая продукция агрокомплекса, то следует принять во внимание и нетепловое воздействие СВЧ-излучений, к которым относится влияние электрической напряженности на мембраны клеток и состояние цитоплазмы.

Многими исследователями были отмечены положительные воздействия СВЧ-излучения на разных живых объектах и изучены различные физиологические эффекты, вызываемые СВЧ-излучением: ускорение роста и увеличение биомассы, интенсификация процессов фотосинтеза, сопровождающаяся повышением

выделения кислорода и содержания в клетках фотосинтезирующих пигментов, увеличение экскреции органических соединений в среде, изменение реакционной способности экзометаболитов, изменение транспорта ионов и др.

Актуальность тематики проведённых исследований.

Решение продовольственной проблемы в нашей стране (Улучшение снабжения продовольствием населения нашей страны) невозможно без наращивания его (сельхозпроизводства) производства. Состояние экономики сельскохозяйственной отрасли, накладывает ряд ограничений, условий на решение данной задачи (проблемы), а именно: постоянное сокращение посевных площадей, постоянный рост цен на ГСМ, а также, на запчасти для сельскохозяйственной техники. Кроме этого (данных недостатков сельхоз экономики), в свою очередь: неблагоприятные климатические условия, наблюдающиеся (имеющие место) в последние годы (в течение последних нескольких лет), а именно: засушливые периоды или наоборот, чрезмерно высокое выпадение осадков, в период вегетации наносят большой экономический ущерб сельскому хозяйству, приводят к неполному, неэффективному использованию плодородных угодий.

Поэтому, проводить увеличение темпов производства продукции растениеводства (интенсификацию) растениеводства нужно с наименьшими затратами, (минимальными вложениями) что возможно только путем применения высококачественного посевного материала.

В связи с этим широкое распространение для регуляции жизнедеятельности растений получили физические факторы. Прежде всего, это различные виды излучений, электрические и магнитные поля.

Материалы и методы.

Исследования проводились на семенах чечевицы, имеющих влажность не менее 20 % и пригодных для проращивания (способных к прорастанию). В данных экспериментах использовались (применялись) генератор ЭМП СВЧ-диапазона HZSN1374400-1.

Воздействию НИ ЭМП СВЧ – диапазона подвергались поочередно 5-ть групп семян, по 50 зёрен в каждой, в течение опре-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

делённого времени различного для каждой группы.

После облучения НИЭМП в СВЧ-диапазоне длин волн, группы семян были помещены в растительные, между двумя слоями влажной фильтровальной бумаги, и размещены в тёмном, проветриваемом шкафу с средней температурой приблизительно 22 градуса Цельсия, недоступным для солнечных лучей. Проращивание семян данных групп, подвергшихся облучению низкоинтенсивных ЭМВ в СВЧ диапазоне, и подсчёт количества проросших зёрен производился согласно ГОСТ 12038-84.

Результаты и их обсуждение.

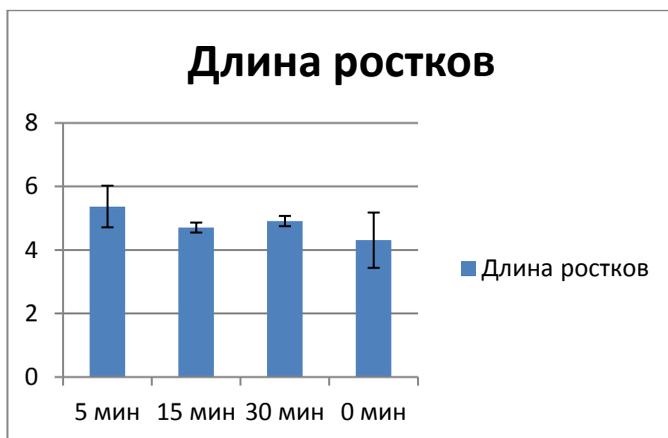


Рис. 1. Длины ростков прорастающих семян, обработанных ЭМП с частотой 2450 МГц, с различными промежутками времени облучения

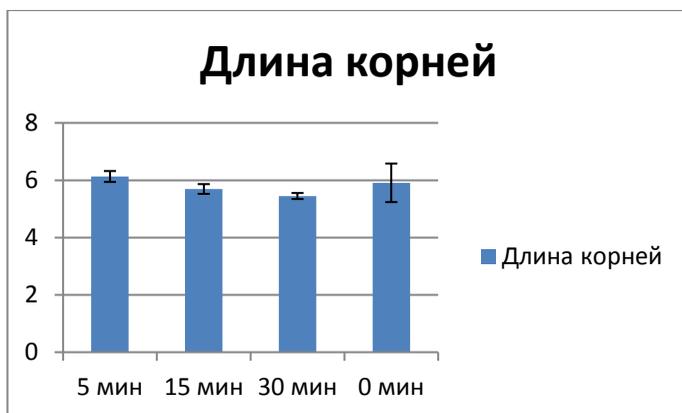


Рис. 2. Длины корней прорастающих семян, обработанных ЭМП с частотой 2450 МГц, с различными промежутками времени облучения

Анализируя результаты проделанных данных лабораторных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Наилучшие результаты всех измеренных показателей развития (роста) ростков семян чечевицы позволяет получить предпосевная обработка данных семян ЭМП СВЧ диапазона с частотой 2450МГц., в течении 5 мин.

2. Дальнейшее увеличение экспозиции облучения всех групп семян до 15 мин приводит к значительному снижению, относительно показателей контрольной группы, таких морфологических показателей прорастающих семян, как длины проростков и длины корней.

3. Результаты проведенных экспериментов на диаграммах (графиках) зависимости показателей развития прорастающих семян (морфометрических показателей), от времени обработки ЭМП, позволяет сделать предположение о наличии второго стимулирующего процесс прорастания (анаболические процессы) режима СВЧ обработки при более длительных экспозиции облучения, а именно: в течении 30 мин.

Список литературы

1. Морозов. Г.А., Седельников. Ю.Е. Низкоинтенсивные СВЧ-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

технологии (проблемы реализации) // «Радиотехника». 2003. С. 31–35.

2. Продукты с биофотонами корпорации «Huashen» в Германии и Европе. <http://www.biofotons.ru> (Дата обращения: 15.03.2015).

3. Ведерников Н.М., Морозов Г.А., Назиров А.А. Микроволновая технология в лесном хозяйстве // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2006. №4. С. 82–91.

**INVESTIGATION OF THE EFFECT
OF MICROWAVE TREATMENT ON THE PHYTO
AND FUNCTIONAL ACTIVITY OF INOCULUM
OF LEGUMINOUS CROPS**

Gadelshin R.

Supervisor: A. Stepura

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

In this paper, a technique was developed for treating lentil seeds with an electromagnetic field of the microwave range, in order to stimulate their sowing properties.

In the main part, the results of research work on the application of electromagnetic low-intensity, nonthermal electromagnetic radiations in the microwave range in agriculture, conducted in many countries of the world, are presented, and the results and their analysis done by the author of laboratory studies of pre-sowing microwave treatment of lentil seeds were presented.

УДК 621.396

ПРОЕКТ СФОКУСИРОВАННОГО БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА. ЧАСТЬ 3. РАЗРАБОТКА ПЛАНАРНОЙ АНТЕННЫ

Гимадиев Д.И., Юлушева А.И.

Научный руководитель: Д.А. Веденькин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Рассматриваются конструкции планарных антенн в задаче реализации беспроводного зарядного устройства, использующего принцип фокусировки. Разработана модель планарной антенны для реализации беспроводного зарядного устройства.

Целью работы является использование Wi-Fi технологий для разработки беспроводного мобильного зарядного устройства. Для реализации данной цели необходимо решить ряд технических задач. Во-первых, необходимо определить координаты устройства в замкнутом пространстве. Во-вторых, фокусировка электромагнитного излучения в заданную точку пространства, с помощью которой поступала бы необходимая мощность для зарядки мобильного устройства. В-третьих, разработка планарной антенны в задаче реализации беспроводного зарядного устройства.

Свойства сфокусированной антенной решетки рассмотрены в [1–5]. Технические приложения с применением сфокусированной антенной решетки рассмотрены в работах [6–9]. Активно обсуждались принципы фокусировки в рамках третьей МНТК ПРЭФЖС-2016 [10]. В настоящее время ведутся работы над применением широкополосных сигналов, некоторые результаты рассмотрены в докладах [11-12].

Целью данной работы является разработка модели планарной антенны (ПА) в задаче реализации беспроводного зарядного устройства.

Современные ПА являются резонансными устройствами, электрические размеры которых соизмеримы с длиной волны. Осо-

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

бенностью ПА является наличие острых кромок металлических проводников, вблизи которых наблюдается концентрация токов, увеличивающая потери в металле. Это предъявляет жёсткие требования к точности компьютерной модели, которая должна адекватно описать сложное распределение поля в окрестности таких кромок. Поэтому правильный выбор способа учёта потерь и точная настройка системы проектирования обеспечивают необходимую точность решения электродинамической задачи для ПА. Общий вид моделей планарных антенн представлен на рис. 1 [13].

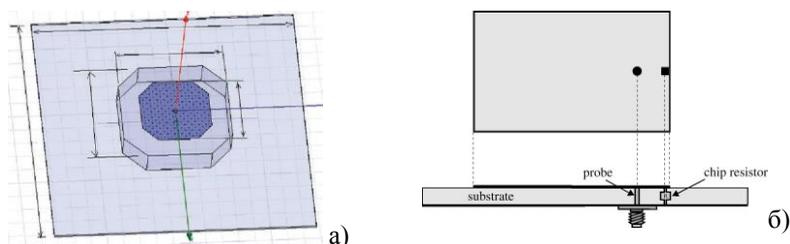


Рис. 1. Общий вид моделей планарных антенн:
а – Внешний вид ПА на подложке, б – геометрия планарной антенны с чип резистором

Общий вид платы и характеристика согласования приведены на рисунке 2.

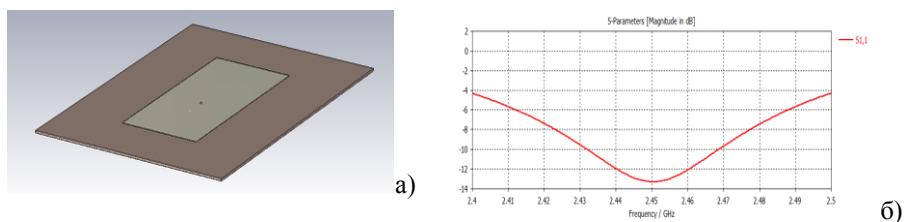


Рис. 2. Планарная антенна с размерами: 100x140 мм,
размер подложки 40x85 мм; модель планарной антенны (а),
характеристика согласования антенны (б)

Диаграмма направленности в полярной системе координат и в 3Д приведена на рисунке 3.

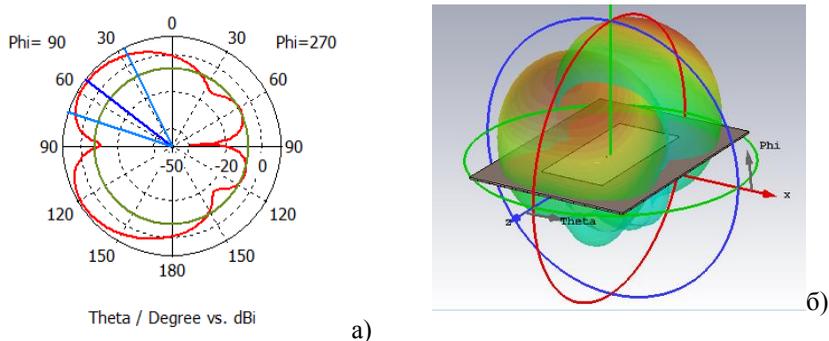


Рис. 3. Диаграмма направленности: а – в полярной системе координат, б – в трехмерном пространстве

Результатом работы является оптимальная модель планарной антенны, ее диаграммы направленности и характеристика согласования, которые приведены выше. В дальнейшем авторы данной работы видят своей целью проанализировать другие модели антенн, к примеру антенну Вивальди.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части Государственного Задания №8.6872.2017/БЧ.

Список литературы

1. Vedenkin D.A. Control of parameters of large aperture antenna arrays with using the overflight method and principles of virtual focused apertures / D.A. Vedenkin., V.I. Klassen., Yu.E. Sedelnikov // Нелинейный мир. 2017. Т. 15. № 1. С. 32–36.
2. Vedenkin, D.A. Antennas, focused in the near radiated field zone. features and technical application / O.V. Potapova, Y.E. Sedelnikov // Сборник: 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT 2013 2013. С. 560–565.

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

3. *Веденькин, Д.А.* Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников. // Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86–88.

4. *Веденькин, Д.А.* Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. № 4. С. 40–46.

5. *Веденькин, Д.А.* Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 5. С. 36.

6. *Веденькин, Д.А.* Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 1 (29). С. 18–31.

7. *Веденькин, Д.А.* Случайные разреженные когерентные антенные решетки, сфокусированные в зоне ближнего излученного поля / Д.А. Веденькин, А.Р. Насыбуллин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 4 (32). С. 22–29.

8. *Веденькин, Д.А.* Свойства объемных случайных антенных решеток, сфокусированных в зоне ближнего излученного поля / Седельников Ю.Е., Насыбуллин А.Р., Рябова Н.В., Иванов В.А. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 12. С. 30–34.

9. *Веденькин, Д.А.* Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток / Ю.Е. Седельников // Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 10 (28). С. 56–59.

10. *Веденькин, Д.А.* Третья международная научно-техническая конференция «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2016» / Д.А. Веденькин, О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 90–99.

11. *Vedenkin, D.A.* Antenna arrays focused on broadband signals/D.A. Vedenkin, Y.E Sedelnikov, A.R. Nasybullin//Journal of Telecommunications and Information Technology. 2016. Т. 2016. № 2. С. 95–102

12. *Веденькин, Д.А.* Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу / Ю.Е. Седельников, Д.А. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 3-1. С. 23–30.

13. *Курушин, А.А.* Моделирование планарной антенны GPS с помощью современных программных комплексов / Современная электроника / Издательство «Ста-Пресс». –М.: – 2012. – №6. – с. 48–53

14.1. Compact and Broadband Microstrip Antennas. Kin-Lu Wong Copyright 2002 John Wiley & Sons, Inc., 2002. – p. 301.

DESIGN OF FOCUSED WIRELESS BATTERY CHARGER. PART 3. DEVELOPMENT OF THE PLANAR ANTENNA

Gimadiev D., Akulinin D., Yulusheva A.

Supervisor: D. Vedenkin, PhD, Associate professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev– KAI, Kazan)

Designs of planar antennas in a problem of realization of the wireless charger are considered. The planar antenna is developed for realization of the wireless charger.

УДК 531.7

СИНТЕЗ ВБР СПЕЦИАЛЬНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Гимадиева А.Р.

Научный руководитель: И.И. Нуреев
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

С развитием волоконно-оптических систем связано развитие техники сенсорных волоконно-оптических систем и применения в них волоконно-оптических датчиков, которые строятся на основе волоконных брэгговских структур, а так же волоконно брэгговских решеток (ВБР). В настоящее время ВБР широко используются во многих областях.

Для детектирования некоторых величин используют оптоволоконные устройства – волоконно-оптические датчики, которые чаще всего основаны на волоконных брэгговских решетках.

В основном принципе многих волоконно-оптических датчиков заключается то, что брэгговская длина волны (т.е. длина волны максимального отражения) в решетке зависит не только от периода брэгговской решетки, но также от температуры и механических напряжений. Так как существует влияние деформации на уменьшение показателя преломления, для кварцевых волокон изменение брэгговской длины волны на единицу деформации примерно на 20 % меньше, чем растяжение. При тепловом расширении температурные эффекты будут близки к ожидаемым.

Одна из задач, которую требуется рассмотреть, является определение формы спектра ВРБ для максимальной линейаризации характеристик измерений. Найти решение можно путем синтеза ВРБ со специальными формами спектра. Рассмотрим несколько вариантов применения ВБР со специальной формой спектра в решении задач при измерении мгновенной частоты радиосигналов в оптическом диапазоне. На рисунке 1 показаны различные типы

ВБР с традиционной (гауссовой) формой (а) и специальными формами – треугольной (б), вогнутой (в) и с фазовым π -сдвигом (г), позволяющие достичь по сравнению с гауссовой линейной формы или квазилинейной формы входных характеристик измерительного преобразования.

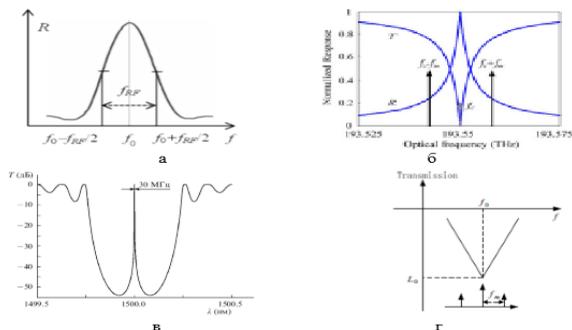


Рис. 1. ВБР с традиционной гауссовской (а) и специальными формами спектра – вогнутой (б), с фазовым π -сдвигом (в) и треугольной (г)

Существует несколько способов получения ВБР с различными формами спектра. Можно синтезировать ВБР с треугольной формой спектра на основе преобразования Фурье. У такого способа больше преимуществ, чтобы получить широкую полосу пропускания ВБР с треугольной формой спектра без использования chirpирования и уменьшения коэффициента модуляции на уровень для осуществления записи одиночных и множественных ВБР.

Список литературы

1. Денисенко, П.Е. Волоконно-оптические брэгговские датчики со специальной формой спектра для систем климатических испытаний / дис. канд. техн. наук: 05.11.13/Денисенко Павел Евгеньевич. – Казань, 2015. – 171с.
2. Морозов, О.Г. Маломодовое зондирование датчиков на основе волоконных решеток Брэгга / В.Г. Куприянов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев и др. // Казань: Научно технический вестник Поволжья. – 2013. – № 4. – С. 200–204

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

3. *Нуреев, И.И.* Моделирование спектральных характеристик волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом для решения задач оптомеханики изгибных датчиков // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики. Материалы 6-ой научно-практической Internet-конференции. –Тольятти. – С. 265–270

4. *Нуреев, И.И.* Радиотонные методы и средства интеррогации комплексированных волоконно-оптических датчиков // Материалы Международной научно-технической конференции «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2016». – Казань: ООО «16ПРИНТ». – 2016. – С. 28–30.

**SYNTHESIS FBG OF A SPECIAL FORM FOR
LINEARIZATION THE MEASURING CHARACTERISTICS**

Gimadieva A.

Scientific adviser: I. Nureev

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev—KAI, Kazan)

With the development of fiber-optic systems, the development of the technology of sensor fiber-optic systems and the use of fiber-optic sensors in them, which are built on the basis of fiber Bragg structures, as well as fiber Bragg gratings (FBG), are associated. Currently, FBG is widely used in many areas.

УДК 681.5.08

СВЧ ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ НА НЕОДНОРОДНОМ КОАКСИАЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ

Зайцев А.Д., Юсупов Т.И.

Научный руководитель: А.Р. Насыбуллин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Линии передачи приобрели широкое распространение в современном мире информационных технологий в виде коаксиальной линии, но имеется множество различных вариаций для использования круглых проводников для разработки различных СВЧ-устройств. Возникают сложности с моделированием данных структур из-за своеобразности поперечного сечения. Задача обостряется при уменьшении количества осей симметрии (смещения проводника с центра), в результате чего возникают сложности при анализе новых разрабатываемых устройств на основе данного вида линий.

Волоконная брэгговская решетка (ВРБ) – это периодическое или аperiodическое возмущение эффективного показателя преломления в сердцевине оптоволокна. В значительном большинстве случаев, брэгговская решетка имеет длину около нескольких миллиметров или же сантиметров. Сам период модуляции составляет сотни нанометров, и значительно больше для длиннопериодных волоконных решеток.

Аналогом ВРБ в радиочастотной области можно считать структуру, которая представляет собой расположенные в направляющем волноводе периодические неоднородности волнового сопротивления. Коаксиальный волновод может быть использован в качестве направляющей системы, частным случаем такой реализации является брэгговская СВЧ-структура в коаксиальном кабеле (БССКК). Внедрение нерегулярностей в поперечных сечениях оси БССКК производится путем высверливания отверстий во внешнем проводнике и диэлектрическом заполнении кабеля. В подобном виде БССКК представляет собой взаимное и симметричное устрой-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

ство СВЧ.

Отражения распространяющейся электромагнитной волны от каждой неоднородности создает периодическое расположение отверстий. Частотную характеристику коэффициента отражения БССКК формирует суперпозиция отраженных волн, в котором существуют кратные дискретные резонансы, которые определяются условием Брэгга.

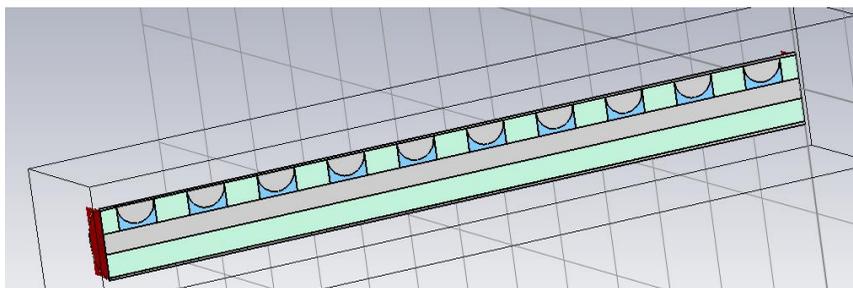


Рис. 1. СВЧ датчик давления на коаксиальном кабеле с периодическими неоднородностями

СВЧ датчик давления состоит из коаксиального кабеля с периодическими неоднородностями, внесенными туда мембранами из проводящего материала (рис. 1). Воздействие давления газа или жидкости на датчик приводит к изменению глубины прогиба мембраны, тем самым изменяя коэффициент отражения и коэффициент передачи системы. Внесение мембран в коаксиальный кабель с периодическими неоднородностями дает возможность работать в более жестких средах и получать более высокие и точные результаты. Однако минус этого СВЧ датчика заключается в трудности его производства.

Как следует из названия круглой коаксиальной линии два цилиндрических проводника, образующие данную линию, расположены соосно один внутри другого (рис. 2а).

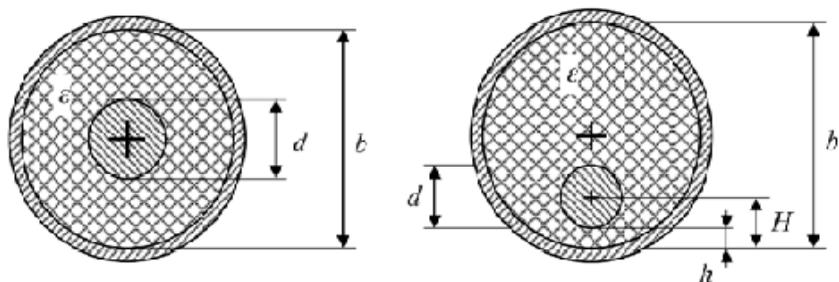


Рис. 2. а) Поперечное сечение круглой коаксиальной линии.
б) Поперечное сечение эксцентричной коаксиальной линии

Коаксиальная линия является не только одной из элементарных в плане конфигурации, но также является одной из элементарных линий для анализа, который можно провести или в строгой постановке теории поля, основанной на уравнении Максвелла, или на основе понятий цепей с сосредоточенными параметрами

Эксцентричная коаксиальная линия представляет собой коаксиальную линию, внутренний проводник которой поперечно сдвинут с центрального положения (рис. 2б). Данная линия имеет малое практическое применение для передачи энергии по причине проблем в достижении точности при изготовлении конструкции, но она имеет некоторое значение в технике СВЧ в качестве преобразователя полного сопротивления от коаксиальной линии к одному из других типов линий. При таком применении используется неоднородный вариант, в котором размер H изменяется с расстоянием вдоль линии.

Знание параметров эксцентричной коаксиальной линии в большей степени требуется при определении величин рассогласования сопротивлений, которое происходит при использовании плохо сконструированной цилиндрической коаксиальной линии. Центральный проводник может сместиться в течение эксплуатации фидерной линии, или в результате ее плохой технологии изготовления. Даже высококачественная линия должна иметь предельный, однако, и малый, допуск на центровку. Эксцентричная линия также является связующим звеном между коаксиальной линией и описанными выше типами линий, которые, в свою очередь, являются

прямым связующим звеном с микрополосковой линией.

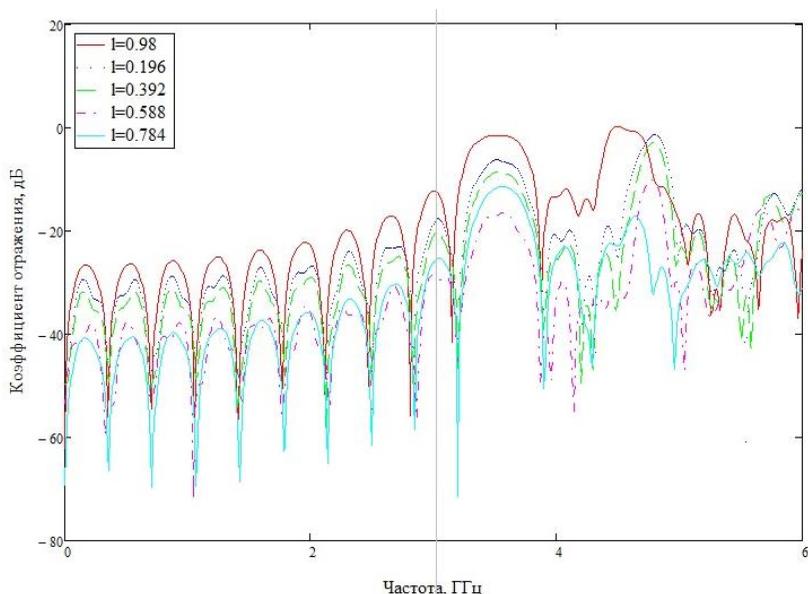


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента отражения для различных показаний глубины прогиба мембраны

На рисунке 3 показаны графики частотной зависимости коэффициента отражения эксцентричной коаксиальной линии от глубины прогиба мембраны l . При изменении l график частотной зависимости ведет себя не постоянно. Так при уменьшении прогиба мембраны коэффициент отражения то уменьшается, то возрастает.

Список литературы

1. *Boughriet A., Wu Z., McCann H., and Davis L. E.* The Measurement of Dielectric Properties of Liquids at Microwave Frequencies Using Open-ended Coaxial Probes. 1st World Congress on Industrial Process Tomography, Buxton, Greater Manchester, April 14-17, 1999.
2. *Пономарев Д.В.* Особенности взаимодействия СВЧ-излучения с фотонными кристаллами, содержащими в качестве неоднородностей диэлектрические, полупроводниковые и металлические

ские включения: автореферат на соискание ученой степени кан-та физ.-мат. наук / Д.В. Пономарев – Саратов, 2012. – 19 с.

3. *Севастьянов А. А.* Брэгговские СВЧ-структуры в коаксиальном кабеле для систем контроля уровня жидких сред. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Самара. – 2014.

4. *Фельдштейн А.П., Явич Л.Р., Смирнов В.П.* Справочник по элементам волноводной техники. – М.: Советское радио, 1967.

5. *Стручков С.М.* Методика конформных отображений для моделирования полосковых линий передачи и проектирование устройств на их основе. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Томск – 2016.

MICROWAVE PRESSURE SENSOR ON A NON-UNIFORM COAXIAL WAVEGUIDE

Zaitsev A., Yusupov T.

Scientific director : A. Nasybullin., Ph.D., associate professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

Transmission lines have become widespread in the modern world of information technologies in the form of a coaxial line, but there are many different variations for the use of round conductors for the development of various microwave devices. There are difficulties with modeling these structures due to the peculiarity of the cross section. The problem is aggravated when the number of symmetry axes decreases (the conductor is displaced from the center), which makes it difficult to analyze new devices being developed on the basis of this type of lines.

УДК 531.7

ИНТЕРФЕРОМЕТР С ЧАСТОТНЫМ СДВИГОМ ДЛЯ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК

Ижutow А.В., Аглиуллин А.Ф.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)*

Мы демонстрируем схему мультиплексирования с использованием волоконной брэгговской решетки (FBG), основанной на частотно-сдвиговой интерферометрии, в которой частотно-сдвиговой элемент размещается асимметрично в одном плече сложного интерферометра Маха-Цендера. Местоположение и спектр отражения каждого датчика FBG в массиве могут быть решены с помощью преобразования Фурье. Мы экспериментально исследовали эту схему мультиплексирования в массиве FBG, построенном десятью датчиками с низким коэффициентом отражения (~ 4%). Отношение сигнал/шум 48 дБ было достигнуто при перекрестных помехах ниже -34 дБ.

Интерферометрия с частотным сдвигом (FSI) является по существу интерферометром Саньяка с частотно-сдвигающим элементом, таким как акустооптический модулятор (АОМ), помещенный асимметрично в петлю. Акустооптический модулятор является универсальным инструментом для ряда применений, включая измерение длины волокна и дисперсии, а также обнаружение слабых отражений или дефектов вдоль волокна.

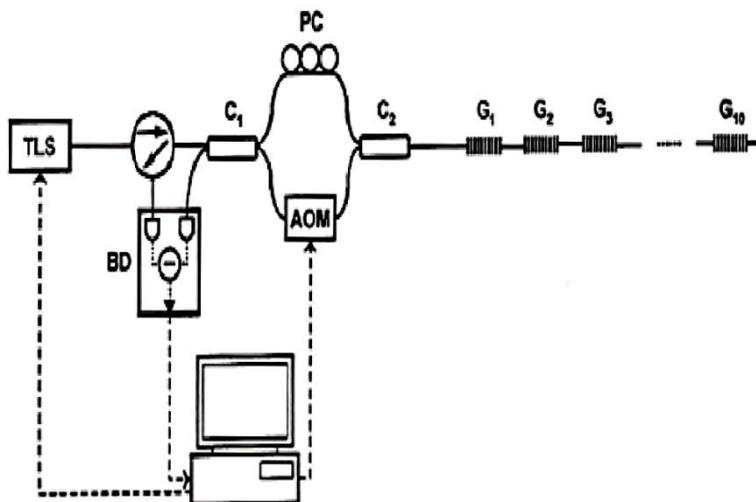


Рис. 1. Экспериментальная установка. TLS: перестраиваемый лазерный источник, BD: сбалансированный фотодетектор, ПК: контроллер поляризации, C_1 и C_2 : соединители 50/50, G_i : i -й FBG.

Обычно используемые методы мультиплексирования FBG включают в себя мультиплексирование с разделением по длине волны (WDM), мультиплексирование с временным разделением (TDM) или комбинацию обоих. Некоторые методы адресуют датчики из их местоположений, накладывая радиочастотную (RF) разветвку на лазерный источник, такой как частотно-модулированная непрерывная волна (FMCW). Все эти методы имеют свои недостатки.

В системе WDM количество датчиков ограничено отношением ширины полосы источника к динамическому диапазону датчиков. В системе TDM требуются импульсный свет и детекторы с временной задержкой. Более того, узкие импульсы приводят к широкому спектральному диапазону, что приводит к низкой отраженной мощности от узкополосных решеток и, следовательно, к низкому отношению сигнал/шум (SNR). В технике FMCW интенсивность источника периодически модулируется с помощью chirpиро-

ванного радиочастотного сигнала. Оптические сигналы, отраженные от разных датчиков, электрически смешиваются с этапом модуляции интенсивности после прихода к фотодиоду. Затем они могут быть разделены в частотной области в соответствии с их частотой биений. Этот метод требует модуляции источника и дополнительных устройств, таких как управляемый напряжением генератор и радиомикшер, что приводит к относительно сложной установке.

По сравнению с вышеупомянутыми методами, FSI имеет много преимуществ. FSI не полагается на WDM и допускает спектральное перекрытие отдельных датчиков. Он предлагает большой динамический диапазон датчиков и обеспечивает гибкость в отношении длины волны для изготовления решетки. Система использует простой настраиваемый источник лазерного излучения CW и общий низкоскоростной сбалансированный детектор. Он может выполнять одновременные измерения на всех датчиках. Схема мультиплексирования экономически эффективна и подходит для крупномасштабных сенсорных сетей.

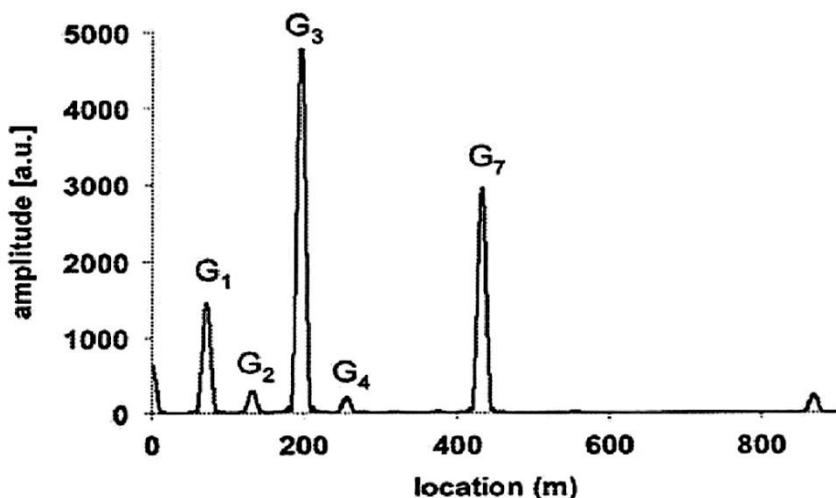


Рис. 2. Фурье-спектр, полученный с помощью определения местоположения, полученный путем выполнения БПФ по экспериментальным данным при 1548,675 нм в окне Хэннинга

Список литературы

1. Нуреев, И.И. Радиофотонные методы и средства интеррогации комплексированных волоконно-оптических датчиков // Материалы Международной научно-технической конференции «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2016». – Казань: ООО «16ПРИНТ». – 2016. – С. 28–30.

2. Морозов, О.Г. Маломодовое зондирование датчиков на основе волоконных решеток Брэгга / В.Г. Куприянов, О.Г. Морозов, И.И. Нуреев и др. // Казань: Научно технический вестник Поволжья. – 2013. – № 4. – С. 200–204.

3. Qi B., Tausz A., Qian L., and Lo H.-K. “High-resolution, large dynamic range fiber length measurement based on a frequency-shifted asymmetric Sagnac interferometer,” Opt. Lett., vol. 30, no. 24, pp. 3287–3289, Dec. 2005.

4. Qi B., Qian L., Tausz A., and Lo H.-K. “Frequency-shifted Mach-Zehnder interferometer for locating multiple weak reflections along a fiber link,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 18, no. 1, pp. 295–297, Jan. 1, 2006.

USING FREQUENCY-SHIFTED INTERFEROMETRY FORMULTIPLEXING A FIBER BRAGG GRATING ARRAY

Izhutov A., Agliullin A.

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev—KAI, Kazan)

We demonstrate a fiber Bragg grating (FBG) sensor multiplexing scheme based on frequency-shifted interferometry, in which a frequency-shifting element is placed asymmetrically in one arm of a folded Mach-Zehnder interferometer. The location and the reflection spectrum of each FBG sensor in an array can be resolved through Fourier transform. We experimentally investigated this multiplexing scheme in an FBG array constructed by ten low-reflectivity (~4%) sensors. A signal-to-noise ratio of 48 dB was achieved with crosstalk below -34 dB.

УДК 621.396

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОНАВЕДЕНИЯ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ АОЛС

Карманников Д. С.

Научный руководитель: В. И. Воронов, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Доклад «Моделирование цифровой системы автонаведения приемопередатчиков АОЛС» посвящен актуальной задаче, относящийся к разработке и исследованию атмосферной оптической линии связи (АОЛС). В настоящее время АОЛС широко применяются в условиях, препятствующих использованию волоконно-оптических линий. Поэтому такие системы принято считать перспективной коммуникационной технологией. Это очень скоростной, а также быстро развертываемый способ связи.

В докладе представлено описание системы программного управления автонаведением передатчиков АОЛС на основе микроконтроллера. Выполнена разработка принципиальной схемы и программы микроконтроллерного управления, а также проведено её моделирование.

Для стабильной связи необходимо чтобы пучок света передатчика был строго направлен на приёмник. Обычно приёмопередатчики АОЛС устанавливаются на крышах зданий и мачтах. В таких условиях лазерное излучение может отклоняться от направления на приемник. В таких случаях необходимо применение систем адаптивного наведения передающих модулей, которые позволяют управлять положением лазерных пучков в сеансе связи.

В данной работе представлены результаты моделирования системы адаптивного наведения лазерных пучков АОЛС [3], которые распространяются в атмосфере.

Структура моделируемой АОЛС показана на рисунке 1.

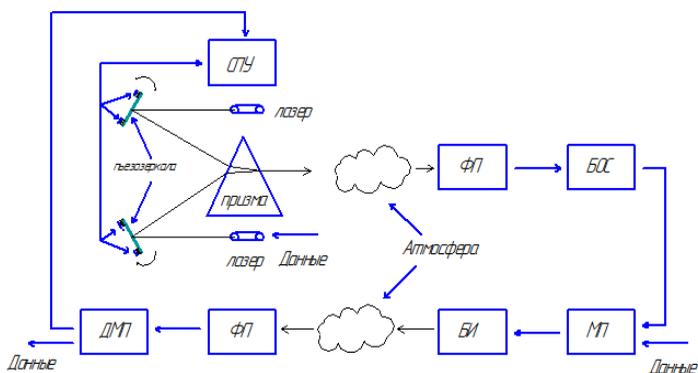


Рис. 1. Структура моделируемой АОЛС

В левой части рисунка схематично представлено приемо-передающее оборудование первого абонента АОЛС, в правой – аналогичное оборудование второго абонента. Система наведения АОЛС работает следующим образом. В передающем оборудовании обоих абонентов имеется 2 лазера, один – информационный лазер (именно в него и поступают передаваемые данные), а второй лазер – вспомогательный (на рисунке расположен над призмой) – используемый в системе сканирования. Излучение от обоих лазеров попадает в призму и объединяется в один лучевой поток. Вспомогательный лазер сканирует пространство в области расположения приемо-передатчика второго абонента. Блок СПУ первого абонента определяет направление луча сканирующего лазера, обеспечивающего попадание излучения на фотоприемник второго абонента. Система должна обеспечивать наведение информационного лазерного излучения на абонента за время «замороженности» атмосферы и один цикл сканирования пространства вспомогательным лазером.

На этой схеме микроконтроллер (U1) соединен с двумя ЦАП U2 и U3. При помощи них микроконтроллер управляет углом поворота пьезозеркала (см. рис. 1). Из-за того, что на выходе ЦАП сигнал обычно недостаточен для работы последующих устройств требуется установить усилитель. В технической документации ЦАП предлагается усилитель LF 351.

В данной работе сигнал, приходящий от второго абонента,

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

формируется случайно и подается на вход АЦП. После того, как программа просканирует всё пространство и определит угол падения луча, при котором было зафиксировано максимальное излучение лазера. По максимуму определяют направление пучка лазера на второго абонента. Блок-схема программы, изображенная на рисунке 3, моделирует работу микроконтроллерного устройства представленного на рисунке 2. На блок семе представлены переменные: a, b, c, i.

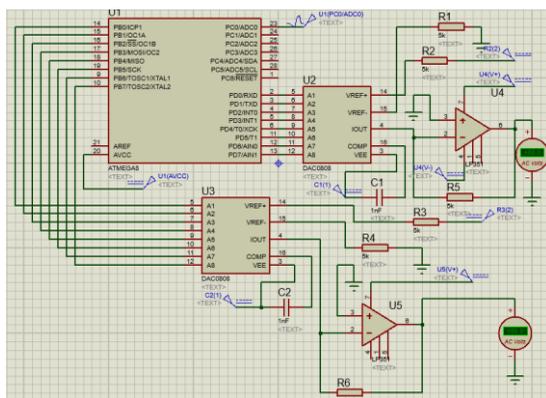


Рис. 2. Принципиальная схема микроконтроллерного устройства

Где a – максимальное значение сигнала, пришедшего от второго абонента; b – текущее значение этого сигнала; c – время, когда был обнаружен максимум; i – порядковый номер, приходящего значения сигнала.

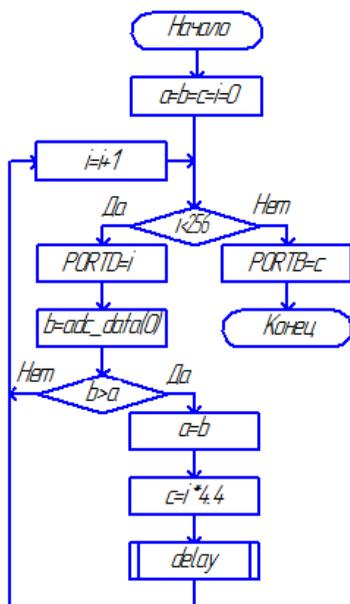


Рис. 3. Блок-схема программы

Для проверки работоспособности программы необходимо смоделировать воздействия атмосферных флуктуаций на лучевой поток, проходящий через атмосферу. Максимум соответствует попаданию луча сканирующего лазера на фотоприемник 2 абонента. Задавалось несколько реализаций, одна из которых представлена на рисунке 4 и рисунке 5.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

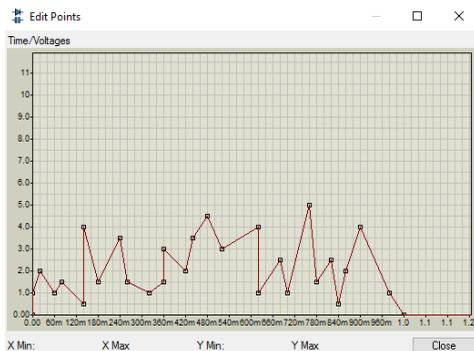


Рис. 4. Воздействие флуктуаций

AVR Variables - U1

Name	Address	Value
.bss	0060	
adc_data	0160	word[6]
a	Y+6=015E	984
b	Y+4=015C	0
c	Y+2=015A	761
i	Y+0=0158	256

Рис. 5. Отклик программы

На рисунке 4 изображен сигнал, приходящий от второго абонента и имеющий случайный характер, максимальная амплитуда которого пришла на 760 мс. На рисунке 5 представлена таблица, которую выдает программа после завершения алгоритма. В данной таблице указаны переменные, адреса хранения эти переменных и значения самих переменных. В переменной “с” имеется результат 761 мс. Вероятно, значение максимума пришло между дискретными, поэтому произошла небольшая ошибка, но, несмотря на это программа довольно точна.

В данной работе была разработана схема и написана программа, которая сканирует окружающее пространство и определяет

наилучшее положение лазерного луча. При наличии принципиальной схемы и написанной программы, произведено моделирование системы автонаведения. По выполнению моделирования были получены результаты. Полученные результаты показали, что разработанная система для автоподстройки и наведения довольно точна, так как в двух случаях из четырёх, нахождения максимума было верным, а во втором и третьем случаях произошла небольшая ошибка по причине того, что значение максимума оказалось между дискретами.

Список литературы

1. Free-Space Optics: Propagation and Communication ISBN 978-1-905209-02-6;
2. Free Space Optics: Enabling Optical Connectivity in Today's Networks ISBN 067232248X;
3. Воронов В.И. Моделирование адаптивной системы наведения лазерного передатчика атмосферной оптической линии связи // *Optical Technologies for Telecommunications*. – 2004
4. Государственный рязанский приборный завод. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.grpz.ru>;
5. Канев Ф.Ю., Лукин В.П., Макенова Н.А. // *Оптика атмосферы и океана*. 2002, Т. 15, № 11, с. 1018 – 1026;

MODELING OF DIGITAL AUTOMATIC GUIDANCE SYSTEM FOR FSO

Karmannikv D.

Supervisor: V. Voronov, doctor of technical science professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

The report "Modeling of the digital automatic guidance system of AOLS transceivers" is devoted to the current problem related to the development and investigation of the atmospheric optical communication line (AOLS). Currently, AOLS is widely used in conditions that prevent the use of fiber optic lines. Therefore, such systems are considered to be a promising communication tech-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

nology. This is a very fast, and rapidly deployable way of communication.

In the report the description of the system of program control of autotest of AOLS transmitters on the basis of a microcontroller is presented. The development of the circuit diagram and the program of microcontroller control has been carried out, and also its modeling has been carried out.

УДК 621.315

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛА В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

Касимов М.Н.

Научный руководитель: Д.А. Веденькин
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Радиофотоника – дисциплина, изучающая вопросы применения и обработки радиосигналов в оптическом диапазоне. Радиофотоника представляет собой сравнительно новое фундаментальное научно-техническое направление, основными объектами исследования которого являются полупроводниковые лазеры, фотодиоды и фототранзисторы, СВЧ диоды и транзисторы с дополнительным оптическим вводом, а также узлы и модули на основе их сочетания между собой и со сверхскоростной цифровой и СВЧ аналоговой компонентной базой электроники. Зарождению радиофотоники способствовало изобретение в 1960-ом году первого технического устройства, использующего фотоны – лазера.

С тех пор электронные системы все чаще стали заменяться на фотонные. Связано это в первую очередь с иной физической природой фотона. Фотоны – это кванты электромагнитного поля и они в отличие от электронов не имеют массы и заряда. Именно поэтому фотонные системы не подвержены внешним электромагнитным полям, обладают гораздо большей дальностью передачи и шириной полосы пропускания сигнала.

Современные методы и средства обработки радиосигналов в оптическом диапазоне длин волн применяются в различных радиотехнических системах оборонного назначения: РЛС предупреждения, разведки наземных и бортовых средств, радиоэлектронной борьбы и связи. К функциям передачи, приема и обработки информации в системах радиофотоники относятся: генерации несущих частот, частот гетеродинов, полигармонических и многочастотных

излучений, их передачи по оптическому волокну и преобразования; формирования диаграмм направленности фазированных антенных решеток, измерения мгновенной частоты и фильтрации радиосигналов и др.

Преимуществами радиофотонных средств над радиоэлектронными являются более широкий частотный и амплитудный диапазон принимаемых несущих, алгоритмы обрабатываемых информационных частот, высокое разрешение при измерениях, малые потери, высокая электромагнитная помехоустойчивость, а также простота структуры, компактность и малый вес. Другими словами, радиофотоника позволяет создавать радиочастотные устройства с параметрами, недостижимыми для традиционной электроники.

Список литературы

1. *Vidal B., Piqueras M. A., Martí J.* “Photonic microwave filter based on spectrum slicing with reconfiguration capability.” *Electron. Lett.*, vol. 41, no. 23, pp. 1286–1287, 2005

2. *Ильин Г. И., Морозов О. Г.* “Радиофотоника”

3. *Vidal B., Corral J. L., Martí J.* “All-optical WDM multi-tap microwave filter with flat bandpass.” *Optics Express*, vol. 14, no. 2, pp 581–586, 2006.

4. *Supradeepa V.R., Long C.M., Wu R., Ferdous F., Hamidi E., Leaird D.E., Weiner A.M.* “Comb-based radiofrequency photonic filters with rapid tunability and high selectivity.” *Nature Photonics*, vol. 6, no. 3, pp. 186–194, 2012.

5. *Нуреев, И.И.* Моделирование спектральных характеристик волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом для решения задач оптомеханики изгибных датчиков // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики. Материалы 6-ой научно-практической Internet-конференции. –Тольятти. – С. 265–270

RESEARCH OF MODERN METHODS OF PROCESSING RADIO SIGNALS IN THE OPTICAL RANGE

Kasimov M.

Scientific adviser: D. Vedenkin
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev—KAI, Kazan*)

Radiophotonique is a discipline that studies the application and processing of radio signals in the optical range. Radiophotonique is a relatively new fundamental scientific and technical direction. The main objects of research are semiconductor lasers, photodiodes and phototransistors, microwave diodes and transistors with additional optical input, as well as nodes and modules based on their combination with each other and with ultra-high-speed digital and microwave analog Component base of electronics. The invention of radiophotonique was facilitated by the invention in 1960 of the first technical device using photons - a laser.

УДК 621.396

**РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНО-ВОЛНОВОДНОГО
ПЕРЕХОДА, КАК ЭЛЕМЕНТА ВРАЩАЮЩЕГОСЯ
СОЧЛЕНЕНИЯ ДЛЯ ДИАПАЗОНА 50-70 ГГц**

Качушкин М.Н.

Научный руководитель: Д.А. Веденькин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В данной работе рассмотрены различные элементы СВЧ узлов, такие как: соединения, изгибы, скрутки и переходы между линиями передач СВЧ. Представлены различные виды коаксиально-волноводных переходов, а так же их основные особенности. Реализована модель коаксиально-волноводного перехода на базе рассмотренных элементов.

В наш дни коаксиальные разъемы V-диапазона широко распространены, они нашли свое применение в устройствах, работающих в частотах 50-70 ГГц, в том числе и в создании коаксиально-волноводных переходов.

Целью данной работы, является выбор коаксиального кабеля и волновода, для создания коаксиально-волноводного перехода, удовлетворяющего требованиям задания ВКР. Для этого в работе решается ряд задач: моделирование коаксиально-волноводного перехода, сравнительный анализ характеристик, и выбор лучшего КВП по полученным данным.

Рассмотрим возможные типы соединения волноводов, типы коаксиально-волноводных переходов и различные коаксиальные кабели. Это необходимо для выбора моделей, которые будут спроектированы в CST STUDIO SUITE. После чего, мы увидим характеристики коаксиально- волноводных переходов. Сравнив их по S характеристике, можно определить ту модель, в которой затухание наименьшее. После чего, ее можно использовать в создании двухсекционного четырехполюсника, который уже будет использоваться, как элемент вращающегося сочленения в диапазоне частот от 50 до 70 ГГц.

Подробнее рассмотрим элементы СВЧ узлов. Для сборки СВЧ тракта используются соединительные устройства. Их задача обеспечить надежный электрический контакт между соединяемыми устройствами. Такие разъемы не должны вносить в тракт значительных помех. В волноводных трактах применяют два типа соединений: контактное (разборное (Рис. 1.1 а), неразборное (Рис. 1.1 б)) и дроссельно-фланцевое (Рис. 1.1 в) [4].

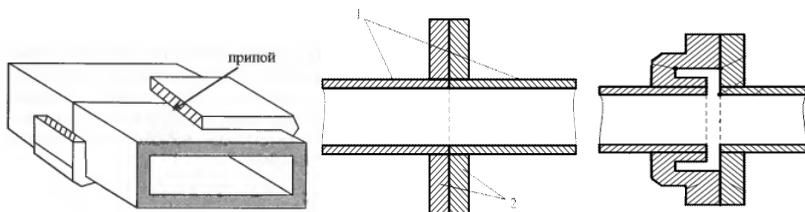


Рис. 1.1. а) Неразборное контактное соединение волноводов;
б) Разборное контактное соединение (где 1 – волноводы,
2 – плоские фланцы); в) Дроссельно фланцевое соединение волноводов

В волноводных трактах так же нашли широкое применение волноводные скрутки. Они предназначены для изменения плоскости поляризации распространяющейся по волноводу волны на требуемый угол. Для улучшения согласования простого уголкового изгиба (Рис. 1.2 а) уменьшают диаметр центрального проводника: $\delta = 0.52 r_1$, длина же плавных изгибов (Рис. 1.2 б) по этой же причине должна быть кратной $\lambda/2$.

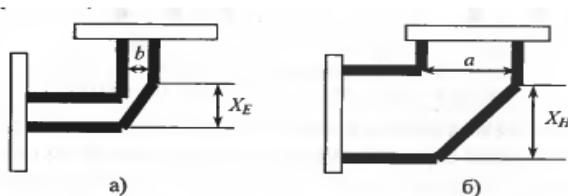


Рис. 1.2. Волноводные изгибы: а) в плоскости Е; б) в плоскости Н

Далее рассмотрим зондовый коаксиально-волноводный переход, который, позже будет использован при моделировании.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

Возбуждение прямоугольных волноводов производится с помощью коаксиально-волноводных переходов. Важнейшими элементами такого перехода являются различной формы штыри, размещаемые в прямоугольном короткозамкнутом с одной стороны волноводе.

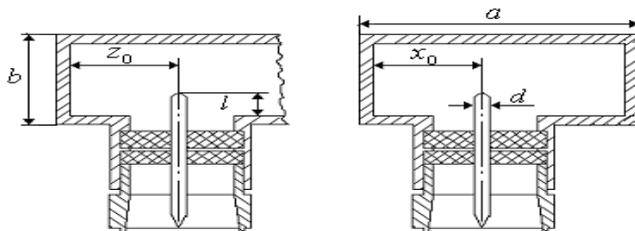


Рис. 1.3. Зондовый коаксиально-волноводный переход

Где: z_0 , x_0 – положение зонда в волноводе; l – длина зонда; a , b – размеры стенок волновода.

Смещая зонд относительно оси системы, можно получить любое активное сопротивление, меньшее, чем волновое сопротивление волновода. Так же существует оптимальное положение штыря с точки зрения получения максимальной полосы пропускания и окончательное согласование достигается посредством изменения длины зонда и его расположением в волноводе волновода. При тщательном выполнении зондовый переход (Рис. 1.3) обеспечивает полосу частот согласования 15-20 % относительно расчетной частоты при КБВ не менее 0,95. Недостатком данного перехода является, снижение прочности из-за того, что на конце зонда, концентрируются линии электрического поля [3].

Как результат приведена, модель и её S-характеристики, созданные на базе программы CST STUDIO SUITE. Так как нет волновода, работающего в таком широком диапазоне, будет использована модель для диапазона 50-60 ГГц [6].

Мы использовали модель зондового перехода с различными подстройками (Рис 1.4), и получили характеристики представленные на рисунке 1.5.

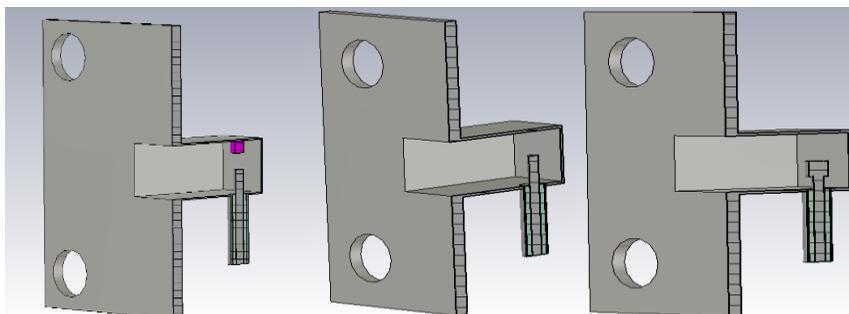


Рис. 1.4. а) Штыревой коаксиально-волноводный переход с подстроечным элементом; б) Штыревой коаксиально-волноводный переход; в) Штыревой коаксиально волноводный переход с измененным кабелем

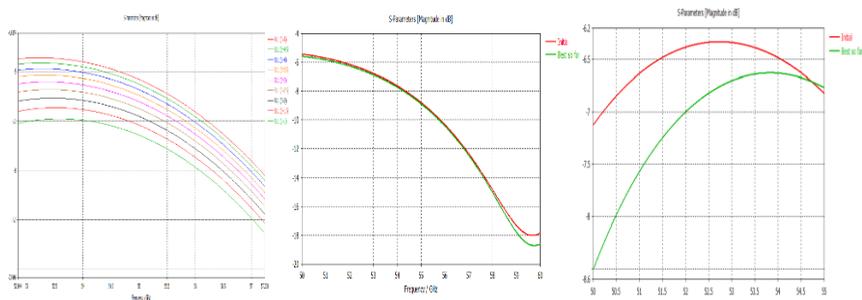


Рис. 1.5. а) S- характеристика штыревого коаксиально-волноводного перехода с подстроечным элементом; б) S- характеристика штыревого коаксиально-волноводного перехода; в) S- характеристика штыревого коаксиально-волноводного перехода с измененным кабелем

Таким образом, можно заметить, что при изменении формы штыря в самом волноводе, можно улучшить его S- параметры, а подстройка с помощью элемента с разной диэлектрической проницаемостью на верхней стенке волновода только ухудшила эти показатели. Исходя из полученных данных, далее, при разработке коаксиально-волноводного перехода, как элемента вращающегося сочленения в диапазоне частот 50–70 ГГц, будет использована модель с подстройкой формы и длины штыря.

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части Государственного Задания №8.6872.2017/БЧ.

Список литературы

1 Белоус А.И., Мерданов М. К., Шведов С.В. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. Техническая энциклопедия в 2-х книгах. Книга 1 // Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 688 с.

2. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для радиотехнич. спец. Вузов // М.: Высш. шк., 1988. – 432 с.

3. Нечаев Ю.Б., Николаев В.И., Андреев Р.Н., Винокурова Н.Н. Антенны, СВЧ - устройства и их технологии; под общей редакцией Нечаева Ю.Б., Николаева В.И. – 2-е издание // Воронеж: ОАО Концерн «Созвездие», 2008. – 629 с.

4. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. // М. Издательство МЭИ, 2011, 155 с.

5. Шаронов Д.Е., Ишкаев Т.М, Веденькин Д.А. Моделирование частотно-селективных поверхностей в СВЧ диапазоне // Слёт молодых ученых. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. – 179с

**DEVELOPMENT OF THE COAXIAL WAVEGUIDE
TRANSITION AS A ROTATING JUMPING ELEMENT
FOR THE 50-70 GHz RANGE**

Kachuskin M.

Supervisor: D. Vedenkin, PhD, Associate professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

In this paper, various elements of microwave components are considered, such as: junctions, bends, twists and transitions between microwave transmission lines. Various types of coaxial-waveguide transitions are present-

ed, as well as their main features. As a result, the model of realization of a co-axial-waveguide transition is presented on the basis of the elements considered.

УДК-621.391

**ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ
ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ВОЛОКОННОЙ РЕШЕТКИ
БРЭГГА С ПОМОЩЬЮ СВЧ ФОТОННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ
И ПЕРЕМЕННОЙ СВЧ ЛЧМ КОМПРЕССИИ**

Кешишев А.В.

Научный руководитель: А.Н. Пикулев, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ г. Казань)

Вводная часть данной работы посвящена рассмотрению метода высокоскоростного и высокоточного опроса датчиков на волоконных решетках Брэгга, основанного на микроволновой фотонной фильтрации и компрессии СВЧ-импульсов.

В предложенных датчиках широкополосный линейно-чирпированный СВЧ-сигнал пропускается через однополосный микроволновый фотонный фильтр. МФФ реализован на основе преобразования фазовой модуляции в модуляцию интенсивности с использованием фазового модулятора и сдвинутой по фазе волоконной решетки Брэгга. Поскольку центральная частота МФФ является функцией рабочей длины волны СФ-ВБР, то в связи с этим, когда СФ-ВБР испытывает деформацию или изменение температуры, длина волны смещается, что приводит к изменению центральной частоты МФФ. На выходе МФФ получают отфильтрованный чирпированный волновой сигнал с центральной частотой, соответствующей приложенной деформации или изменению температуры. Благодаря компрессии (сжатию) ШЛЧС в цифровом сигнальном процессоре увеличивается точность. Экспериментальные результаты свидетельствуют, что достигается чувствительность и точность опроса $1.25 \text{ нс} / \mu\text{е}$ и $0.8 \mu\text{е}$ соответственно.

На рисунке 1 показана конфигурация предложенного датчика СФ-ВБР. Вся система – это МФФ, за которой следует цифровой сигнальный процессор. МФФ реализован с использованием фазового модулятора и волоконной решетки Брэгга, имеющий сдвину-

тую фазу, путем передачи метки (пика, отклика) СФ-ВБР в полосу пропускания МФФ на основе фазовой модуляции и преобразования фазовой модуляции в модуляцию интенсивности. Как видно, на рисунке 1, световая волна от перестраиваемого лазерного источника (TLS) отправляется в фазовый модулятор через поляризационный контроллер (PC). Фазомодулированный сигнал на выходе фазового модулятора посылается в СФ-ВБР. СФ-ВБР, отфильтровывая одну боковую полосу фазомодулированного сигнала с вырезом, выполняет преобразование фазовой модуляции в модуляцию интенсивности. Далее модулированный по интенсивности сигнал попадает на вход фотодетектора. Этот тракт и реализует требуемый МФФ, имеющий полосу пропускания с центральной частотой, определяемой разностью длин волн между световой волной и выемкой. На вход МФФ подается широкополосный линейно-чирпированный СВЧ-сигнал. На выходе МФФ получается отфильтрованный линейно-чирпированный СВЧ-сигнал (ЛЧСС) с центральной частотой, определяемой центральной частотой полосы пропускания МФФ. Чтобы повысить точность, отфильтрованный ЛЧСС сжимается путем корреляции его с формой сигнала, подаваемой на вход МФФ, что осуществляется в цифровом сигнальном процессоре (DSP).

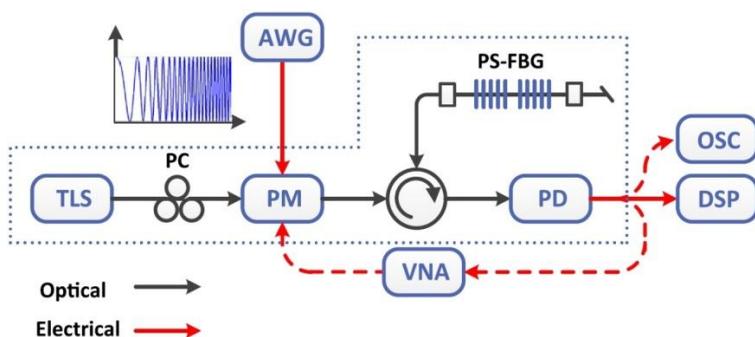


Рис. 1. Принципиальная схема датчика на основе ВБР.

TLS – перестраиваемый лазерный источник; AWG – генератор произвольных сигналов; PM – фазовый модулятор; PD – фотоприемник;

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

VNA – векторный сетевой анализатор; OSC – осциллограф;
DSP – цифровой сигнальный процессор

Ключом к реализации предлагаемой системы опроса является наличие МФФ с центральной частотой полосы пропускания зависящей от изменения длины волны выреза СФ-ВБР. Если оптическая несущая частота или длина волны равна f_c или λ_c , а центральная частота или длина волны паза равна f_{PS-FBG} или λ_{PS-FBG} , то центральной частотой полосы пропускания MPF является разность между двумя частотами, которая задается, как:

$$f_{MPF} = f_{PS-FBG} - f_c \approx \frac{c}{n} \left(\frac{\lambda_c - \lambda_{PS-FBG}}{\lambda_c^2} \right) \quad (1.1)$$

где f_{MPF} – частота полосы пропускания МФФ, c – скорость света в вакууме, n – эффективный показатель преломления волокна. Когда СФ-ВБР испытывает деформацию, центральная длина волны надреза будет смещена из-за изменения шага решетки. В результате центральная длина волны полосы пропускания MPF будет смещаться. Таким образом, мы имеем связь между деформацией и изменением длины волны, выраженную, как:

$$\Delta \lambda_{PS-FBG} = \lambda_{PS-FBG} \cdot (1 - P_e) \Delta \varepsilon \quad (1.2)$$

где P_e – коэффициент фотоупругости волокна. Соответствующее изменение частоты полосы пропускания MPF равно:

$$\Delta f_{MPF} = \frac{c}{n \lambda_c^2} \cdot \lambda_{PS-FBG} \cdot (1 - P_e) \Delta \varepsilon \quad (1.3)$$

Как видно, изменение частоты линейно пропорционально деформации, приложенной к СФ-ВБР. При подаче широкополосного линейно-чирпированного СВЧ-сигнала на вход МФФ, будет получен только тот участок спектра ЛЧСС, который попадает в полосу пропускания. Контролируя центральную частоту отфильтрованного ЛЧСС, измеряют деформацию.

Математически широкополосный ЛЧСС может быть выражена как:

$$S(t) = \text{rect} \left(\frac{t}{T} \right) \cdot \exp(jk\pi t^2) \quad (1.4)$$

где k – скорость чирпа, $\text{rect}(T / T)$ – прямоугольное окно, а T – вре-

менная длительность сигнала.

Когда широкополосный ЛЧСС подается на вход МФФ, у нас есть выходной сигнал

$$H_{output}(f) = S(f) \cdot H_{MPF}(f) \quad (1.5)$$

$$H_{MPF}(f) = \frac{\pi^2 R^2}{V\pi^2} [1 - R(f_c + f)] \quad (1.6)$$

где $S(f)$ является преобразованием Фурье функции $s(t)$, $H_{MPF}(f)$ – частотная характеристика МФФ, представляющая собой узкополосный фильтр с центральной частотой f_{MPF} , R – фоточувствительность фотодетектора, $V\pi$ – полуволновое напряжение фазового модулятора, $R(f)$ – спектральный профиль отражения от СФ-ВБР. Пик полосы пропускания МФФ появляется, когда $R(f_c + f) = 0$, что означает, что центральная частота пика f_{MPF} удовлетворяет $f_c + f_{MPF} = f_{PS-FBG}$.

Список литературы

1. Волоконно-оптические локальные вычислительные сети / под ред. А.А. Щокина. – М., 1994. – 90 с.
2. Волоконная оптика // Тр. Ин-та общей физики РАН. – Т. 5. – М.: Наука, 1992 – 160 с.
3. Okawara C. Fiber optic interferometric hydrophone using fiber Bragg grating with time division multiplexing / C. Okawara, K. Saijyou // Acoust. Sci. & Tech. – 2007. – № 1(28).
4. Tsujikawa K., Tajima K., Ohashi M. “Rayleigh Scattering Reduction Method for Silica-Based Optical Fiber,” J. Lightwave. Technol., Vol. 18, № 11, pp. 1528–1531, 2000.

HIGH SPEED AND HIGH RESOLUTION INTERROGATION OF A FIBER BRAGG GRATING SENSOR BASED ON MICROWAVE PHOTONIC FILTERING AND CHIRPED MICROWAVE PULSE COMPRESSION

Keshishev A.

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

Supervisor: A. Pikulev, PhD, Associate professor
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)*

The introductory part of this work is devoted to the method of high-speed and high-precision interrogation of sensors on Bragg fiber gratings, based on microwave photon filtration and compression of microwave pulses.

УДК 528.629

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСИРОВАННОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЛАЖНОСТИ И ДУГОВОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ КОМПЛЕКТНЫХ ШКАФОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Кешишев А.С.

Научный руководитель: И.И. Нуреев, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Основной раздел работы по моделированию датчика посвящен вопросам актуальности использования волоконно-оптических датчиков, причинам выбора определённых технологий их построения. Разработана структурная схема комплексированного датчика.

На основе Брэгговских решёток можно создать огромное число датчиков и измерителей различных параметров. Целью работы является моделирование комплексированного датчика для комплектных шкафов энергетических систем распределения. Именно волоконно-оптические датчики являются наиболее удобными для работы на данном типе оборудования. Это обусловлено преимуществами волоконных датчиков, такими как [1]: помехозащищенность от электромагнитных и радиационных помех, широкополосность (многоканальность измерений по одному волокну); многопараметровая чувствительность (один датчик на несколько параметров); высокое быстродействие (малая инерционность); распределенные измерения (система датчиков одном протяженном волокне); малые габариты и масса. Все эти свойства позволяют создать наиболее чувствительный к появлению электрической дуги датчик.

В комплектных шкафах энергетических систем распределения возможно появление электрической дуги (пробой между токоведущими частями, который связан с наличием электрического поля, обладающего большой напряженностью). Данный процесс сопровождается высочайшей температурой (доходит до нескольких тысяч градусов по шкале Цельсия). Дуга за доли секунды может

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

уничтожить оборудование [2], поэтому высокая скорость её определения позволит уменьшить стоимость ремонта.

Причина, по которой создаётся именно комплексированный датчик кроется в повышении чувствительности. Известно, что дуга помимо яркого свечения в видимом диапазоне, обладает высокой температурой. Применение датчика дуги вместе с датчиков температуры позволяет повысить скорость срабатывания. Датчик влажности полезен тем, что позволяет определить повышенную влажность, а значит защитить оборудование от коррозии и коротких замыканий.

Были проведено изучение различных вариантов построения датчика для того, чтобы определить наиболее оптимальную схему устройства. В результате было решено использовать три волоконных решётки Брэгга соединённых последовательно оптическим волокном. Третья, или последняя решётка будет датчиком дуги. Принцип измерения состоит в определении её возникновения, которое сопровождается ярким свечением. Датчик имеет открытый торец волокна с цилиндрической линзой и отражателем. Данная конструкция позволяет увеличивать на порядок чувствительность датчика. Центральная решётка будет датчиком влажности. Для измерения используется полиимидная плёнка. Первый датчик будет измерять температуру. Данная схема позволит не только измерять сразу три параметра, но и обеспечивает температурную компенсацию.

Структурная схема датчика представлена на рисунке 1, где (1) – излучение дуги, а (2) – линза датчика дуги.

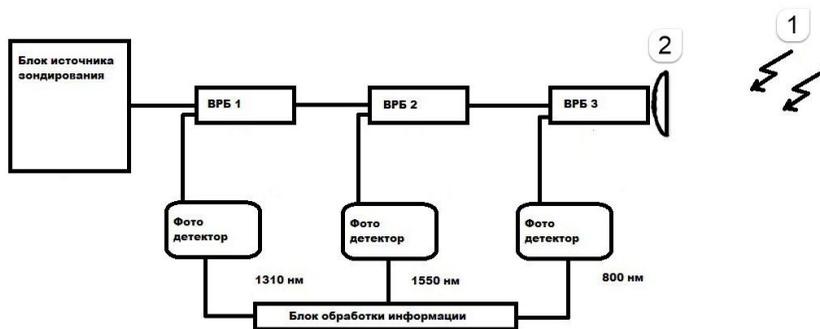


Рис. 1. Структурная схема комплексированного датчика

Результатом работы является решение актуальной научной задачи создания комплексированных волоконных датчиков. Данные ВОД могут найти применение в области волоконно-оптических сенсорных систем для измерения и контроля точных значений параметров физических полей в комплектных шкафах энергетических систем распределения.

Список литературы

1. Бусурин В.И., Носов Ю.Р. Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. М.: Энергоатомиздат, 1990. 256 с.
2. Нагай В. И. Релейная защита ответвительных подстанций электрических сетей. М.: Энергоатомиздат, 2002.

THE MODELING COMPLEXED SENSOR TEMPERATURE, HUMIDITY AND ARC PROTECTION FOR COMPLETE CABINET POWER DISTRIBUTION SYSTEMS

Keshishev A.

Supervisor: I. Nureev, candidate of technical sciences, docent
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

The main section of the sensor simulation is devoted to the issues of the actual use of fiber-optic sensors, the reasons for choosing certain technologies for their construction. The block diagram of the complex sensor is developed.

РАСЧЕТ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ КОАКСИАЛЬНОГО ЛАЗЕРА

Киселев В.И., Сафиуллина Г.А.

Научный руководитель: Л.Г. Кесель, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Произведен расчет выходной мощности коаксиального лазера. Получены зависимости выходной мощности от радиуса кривизны асферического зеркала для трех типов резонаторов.

В настоящей работе рассмотрен коаксиальный лазер, резонатор которого образован асферическим и плоским зеркалами. Асферическое зеркало выполнено в виде осесимметричного коноида, образующая которого дуга окружности радиуса R . Кроме радиуса кривизны образующей R зеркало характеризуется диаметром девяностоградусного раствора d_{90} . Это есть диаметр окружности, в точках которой конус с углом при вершине равным 90° касается вложенной в него асферической (или сферической) поверхности. В случае сферы $d_{90} = R/2$. Если поверхность асферическая, то d_{90} является независимым параметром.

Для расчета ряда важных параметров лазера, например выходной мощности, требуется знание модовой структуры резонатора. При определении модовой структуры резонатора можно применить плоскую модель резонатора и заменить исследуемый резонатор на эквивалентный, построенный по схеме, представленной на рисунке 1.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

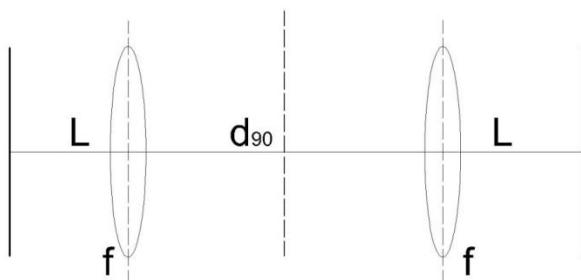


Рис. 1. Эквивалентная схема резонатора

Параметрами основной моды являются: полуширина моды в перетяжке ω_0 и ее расходимость, характеризуемая углом θ . В соответствии с матричной методикой [1], эти параметры определяются элементами лучевой матрицы.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi}} \cdot \sqrt[4]{\frac{B}{C}} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi \cdot \omega_0}, \quad (2)$$

где λ – длина волны излучения лазера; B , C – элементы лучевой матрицы, которые мы получили, записав матрицу полного прохода резонатора.

Для расчета выходной мощности лазера использовался подход Ригрода [2], который позволяет с достаточной точностью анализировать энергетику лазера. Выходная мощность определяется следующим выражением:

$$P_{\text{вых}} = S_0 I_S \alpha_0 L \left(1 - \sqrt{\frac{2\beta L - \delta_{\Sigma}}{2\alpha_0 L}} \right)^2 \quad (3)$$

где α_0 – ненасыщенный показатель усиления; I_S – плотность потока мощности насыщения; L – длина резонатора; δ_{Σ} – суммарные потери на обоих зеркалах;

$$\delta_{\Sigma} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_0,$$

где δ_1 и δ_2 – потери на поглощение в зеркалах резонатора; δ_0 – потери на дифракцию на ограничивающей апертуре, β – распределенные потери в рабочем веществе.

Для исследуемого резонатора коаксиального лазера площадь

поперечного сечения активного вещества определяется выражением $S_0 = 2\pi d\omega_0$.

Результаты расчетов выходной мощности $P_{\text{вых}} = f(R)$ для трех типов резонаторов представлены на рисунке 2.

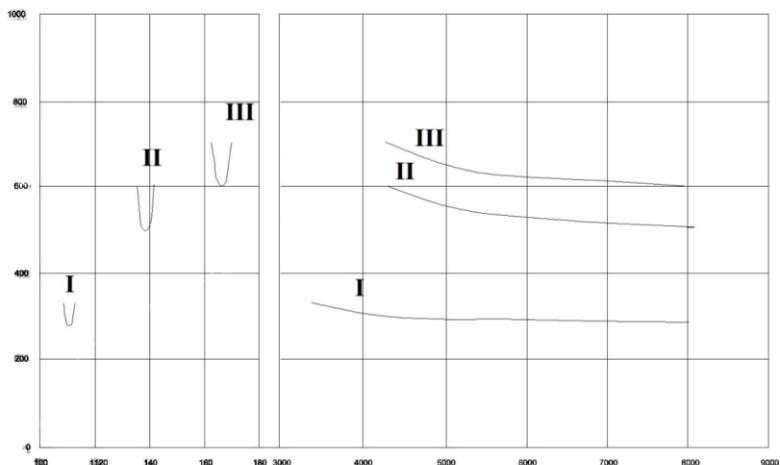


Рис. 2. Зависимость выходной мощности от радиуса для трех типов резонаторов

Список литературы

1. А. Джеррард, Дж. М. Берч Введение в матричную оптику: пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 344 с.
2. Звелто О. Принципы лазеров: пер.с англ. под научн. ред. Т.А. Шмаонова, СПб; Лань – 2008

THE CALCULATION OF THE OUTPUT POWER COAXIAL LASER

Kiselev V., Safiullina G.

Supervisor: L. Kesel, Ph. D., Associate Professor
(Kazan National Research Technical

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

The calculation of the output power coaxial laser. The dependences of the output power of the radius of curvature of the aspheric mirrors for the three types of resonators.

УДК 621.365.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМП КВЧ-ДИАПАЗОНА В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ ДРОЖЖЕЙ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ

Кокурин О.Е., Тимаков Н.П.

Научный руководитель: Г.А. Морозов,
докт. техн. наук, профессор

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

В данной статье рассматриваются способ и результаты воздействия ЭМП на дрожжи хлебопекарные. Описывается методика воздействия ЭМП на дрожжи и определения активности процессов жизнедеятельности.

Цель и задачи исследования. Задачей проведённого исследования лабораторных испытаний жизнедеятельности дрожжей хлебопекарных, в процессе предварительной обработки ЭМП КВЧ-диапазона, является определение скорости поглощения, с целью определения разницы при воздействии ЭМП разной длины волны, для дальнейшей оценки возможности использования полученных результатов в пищевой промышленности.

Актуальность тематики проведённых исследований.

Проблема влияния электромагнитных полей на биологические объекты в настоящее время приобрела особую актуальность, так как за последние пятьдесят лет электромагнитный фон Земли увеличился в тысячи раз, что связано с использованием новых искусственных источников электромагнитных полей (ЭМП) различных частотных диапазонов. Поэтому проблема электромагнитного загрязнения включена в перечень приоритетных направлений исследований неионизирующих физических факторов окружающей среды, так как нет полного понимания закономерностей и механизмов действия ЭМП на биологические объекты и, прежде всего, на организм человека.

Материалы и методы.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

В качестве объекта исследования использовали дрожжи хлебопекарные растворенные в воде. Облучение культуры проводили с помощью генератора электромагнитного излучения Г4-142 в течение 30 минут. Расстояние от рупора излучателя до объекта составляло 50 мм. Частота облучения в диапазоне от 55 до 61 с шагом 0,5 ГГц. Обработке подверглись по 30 мл дрожжей для каждой из выбранных частот с контролем температуры в пределах 32-38°С. Эксперимент проведен с трехкратным повтором.

Задачей проведенного исследования лабораторных испытаний жизнедеятельности дрожжей хлебопекарных, являлось определение возможность стимулирования роста микроорганизмов и синтеза продуктов метаболизма при воздействии электромагнитного облучения крайне высоких частот (ЭМИ КВЧ).

Данные исследования воздействия электро-магнитного поля КВЧ диапазона производились в лаборатории кафедры РФМТ КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, научно-образовательного центра «НИИ Прикладной электродинамики», под руководством д. т. н., профессора Г.А. Морозова. Для обработки дрожжей хлебопекарных использовался генератор ЭМП КВЧ-диапазона Г4-142. ЭМП, излучаемое рупорной антенной данного генератора, имеет следующие параметры: длина волны: от 5,6 до 3,8 мм, частота: от 53 до 78 ГГц, выходной мощностью - 100 мВт/см².

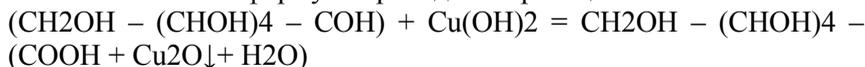
Обработке подвергали дрожжи хлебопекарные растворенные в воде 1/8. Создана питательная среда для дрожжей путем растворения сахара в воде. В процессе обработки через 15 и 30 минут от общей массы отбирались пробы по 0,2 мл в отдельные пробирки, предварительно добавив в каждую пробирку по 1 мл 0,1 % раствора щелочи.

Глюкоза в щелочной среде с гидроксидом меди образуют комплексное соединение фиолетового цвета, растворимое в воде. Для определения концентрации глюкозы использовалась реакция комплексного образования оксида меди. Глюкоза проявляет свойства многоатомных спиртов и альдегидов. Так как молекулы глюкозы содержит и гидроксильные и альдегидные группы. Реакция комплексообразования с гидроксидом меди (II). При взаимодействии свежесозданного гидроксида меди (II) с моносахаридами

происходит растворение гидроксида с образованием комплекса синего цвета.

Для проведения реакции необходимо: 1 мл исследуемого раствора помещают в мерную пробирку, добавляют 1,5 мл раствора гидроксида меди и 2 мл 10 % раствора гидроксида натрия и доводят данный раствор дистиллированной водой до 4 мл. Далее помещаем полученный раствор в центрифугу, и центрифугируем в течении 2-х минут.

Химическая формула проводимой реакции:



Контрольная проба готовится следующим образом: 1 мл исследуемого раствора помещают в мерную пробирку, добавляют 2 мл 10 % раствора гидроксида натрия и доводят данный раствор дистиллированной водой до 4 мл. Далее помещаем полученный раствор в центрифугу, и центрифугируем в течении 2-х минут. Затем подготавливаем полученные растворы путем центрифугирования и далее раствор заливают в кювету толщиной 0.3 мл, проводят фотометрируем на колориметре КФК-2 при длине волны $\lambda = 750\text{nm}$.

По полученным результатам можно будет судить о количестве оставшейся глюкозы

Результаты

Полученные результаты проб

Таблица 1

Результаты измерения коэффициента пропускания и оптической плотности

частота F, ГГц	T		D	
	15минут	30минут	15минут	30минут
55	46	50	0,34	0,31
55,5	47	49	0,31	0,29
56	54	58	0,3	0,27
56,5	46	55	0,31	0,28
57	52	58	0,29	0,26

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

57,5	49	57	0,32	0,26
58	40	43	0,36	0,31
58,5	39	46	0,33	0,31
59	53	56	0,3	0,24
59,5	46	56	0,32	0,26
60	57	68	0,28	0,18
60,5	69	80	0,24	0,1
61	64	73	0,25	0,14

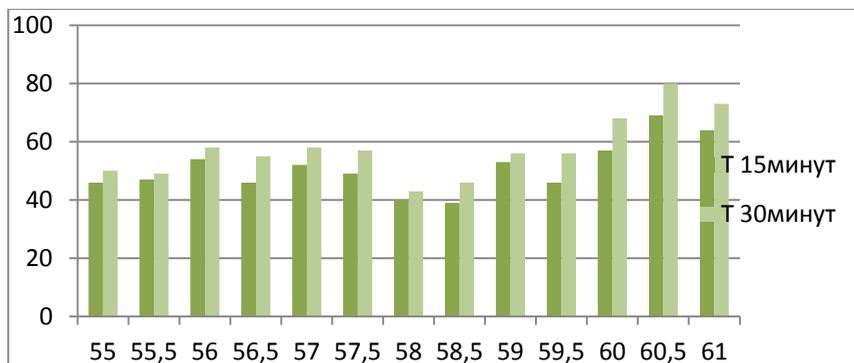


Рис. 1. Результаты измерения коэффициента пропускания полученных растворов

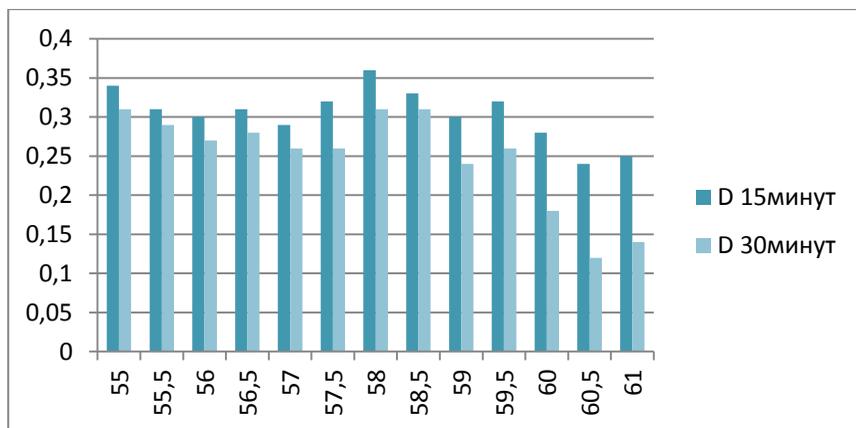


Рис. 2. Результаты замера оптической плотности полученных растворов

Выводы

Проанализировав результаты проведенного исследования о воздействии ЭМП частотой от 55 до 61 ГГц на дрожжи хлебопекарные сделаны выводы:

1 Оптимальные частоты, когда происходит наибольшее поглощение глюкозы, лежат в диапазоне 60-61 ГГц. Следует отметить, что они вполне близкие к собственным частотам поглощения воды, хотя и немного отличаются от них.

2 На частотах 58 – 59 ГГц наблюдается увеличение остаточной глюкозы, что свидетельствует о замедлении процессов жизнедеятельности.

Список литературы

1. Морозов. Г.А., Седельников. Ю.Е. Низкоинтенсивные СВЧ-технологии (проблемы реализации) // «Радиотехника». 2003. С. 31–35.

2. Рубцова Н.Б., Пальцев Ю.П., Походзей Л.В., Перов С.Ю. Проблема обеспечения сохранения здоровья человека в условиях воздействия электромагнитных полей. Гигиеническое нормирование. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. С. 3–10.

**INVESTIGATION OF EFF IMPACT
OF EHF-RANGE IN THE PROCESS
OF YEAST-BAKERY YEAST TREATMENT**

Kokurin O., Timakov N.

Scientific adviser: G. Morozov, Doctor of Technical Sciences, Professor
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*

In this article, the method and results of the influence of EMF on yeast baking are considered. The technique of the effect of EMF on yeast and the determination of the activity of life processes is described.

УДК 531.7

СКРЫТНОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ К ОПТИЧЕСКОМУ ВОЛОКНУ

Коробков Л.В., Денисенко П.Е.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Подключение к оптическому волокну (fiber tapping) – процесс, при котором безопасность оптического кабеля компрометируется внедрением или извлечением световой информации, для дальнейшего её использования. Оптоволоконный кабель имеет определенные параметры, показывающие помехозащищенность и секретность передаваемой информации. Никакие внешние электромагнитные помехи в принципе не могут изменить световой сигнал, а сам этот сигнал принципиально не порождает внешних электромагнитных излучений. Подсоединиться к этому типу оптического кабеля для скрытного прослушивания сети практически невозможно, так как это повлечет за собой нарушение целостности кабеля. Совершенствование волоконно-оптических систем связи, а также средств и методов извлечения информации требует необходимость постоянного совершенствования как способов и средств выявления технических каналов утечки информации в этих системах, так и способов и средств защиты информации от утечки по техническим каналам.

Одна из задач, которую требуется рассмотреть, является изучение способов скрытного подключения, а также на основе полученных результатов разработать методические рекомендации по защите от подключений.

Для извлечения света, необходимого для получения данных, есть два основных способа: сгибание волокна, так что часть света начинает выходить через тонкую полимерную оболочку, и при помощи пристыковки другого волокна.

Одним из наиболее эффективных способов скрытного подключения является сгибание волокна.

В этом способе скрытного подключения, оптический кабель разбирается до волокна. Также, этот способ основан на принципе распространения света через волокно путем полного внутреннего

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

отражения. Чтобы достигнуть результата, используя данный метод подключения, угол падения света в кабеле на переход между ядром волокна и его оболочкой должен быть больше критического угла полного внутреннего отражения.

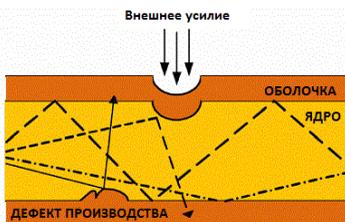


Рис. 1. Микросгиб

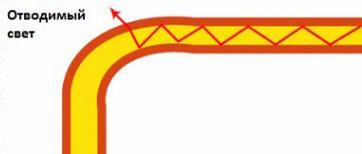


Рис. 2. Макросгиб

Лучшим методом защиты от таких подключений является использование сильногнувшегося волокна (G.657). Такие виды волокна, обладают низкими потерями, а также большим радиусом изгиба, что позволяет защитить сеть передачи данных, ограничивая высокие потери, которые появляются при прокалывании волокна или его сгибании, а также любом механическом воздействии. Кроме того, при использовании такого кабеля, световой поток в нём становится более устойчивым к таким факторам как вытягивание, перекручивание и другим физическим манипуляциям с волокном.

Также, одним из способов защиты оптоволоконных сетей является разработка квантовой криптографии, которой занимались ученые квантового центра КНИТУ-КАИ и Университета ИТМО. Суть исследования заключалась в совместном запуске пилотного сегмента первой в России многоузловой квантовой сети. Этот проект является важным этапом в развитии квантовой связи в России, поскольку именно он основывает технологический фундамент для создания масштабируемой национальной инфраструктуры квантовых коммуникаций. Квантовая сеть в Казани полностью основана на отечественных разработках и по техническим параметрам не уступает, а по ряду характеристик превосходит, передовые зарубежные аналоги.

Список литературы

1. *M.Z IQBAL, H FATHALLAH, N BELHADJ*. 2011. Optical Fiber Tapping: Methods and Precautions. High Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET).

2. Влияние изгибов оптических волокон на их характеристики (по материалам технического симпозиума общего собрания Ассоциации «Интеркабель») – Наука и техника № 4(293), 2005.

3. Рекомендация МСЭ-Т G.657 (10/2012). Характеристики нечувствительного к изгибным потерям одномодового оптического волокна и кабеля для сети доступа.

4. *Корольков А.В., Кращенко И.А, Матюхин В.Г., Синев С.Г.* Проблемы защиты информации, передаваемой по волоконно-оптическим линиям связи, от несанкционированного доступа.

SECRETIVE CONNECTION TO FIBER OPTIC

Korobkov L., Denisenko P.

(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev—KAI, Kazan)

Fiber tapping is a process in which the security of an optical channel is compromised by the insertion or extraction of light information. Fiber-optic cable has exceptional characteristics for noise immunity and privacy of transmitted information.

No external electromagnetic interference is in principle capable of distorting the light signal, and the signal itself does not in principle generate external electromagnetic radiation. It is almost impossible to connect to this type of cable for unauthorized listening to the network, as this requires a violation of the integrity of the cable. Improvement of fiber-optic communication systems and also means and methods of interception of information necessitates constant improvement both of the ways and means of identifying technical channels for information leakage in these systems and of ways and means of protecting information from leakage through technical channels.

УДК 623.74

**ИАГ:Nd- ЛАЗЕР НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 1.34 мкм
С ОБРАЩЕНИЕМ ВОЛНОВОГО ФРОНТА
НА ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ РЕШЕТКАХ
НАСЕЛЕННОСТИ НЕОСНОВНОГО ПЕРЕХОДА**

Коровин С.А., Чунаев А.А.

Научный руководитель: М.Н. Ершков, доцент
(*Ковровская государственная технологическая
академия имени В.А. Дегтярева, г. Ковров*)

Представлены результаты экспериментального исследования генерации ИАГ:Nd-лазера с обращением волнового фронта на длине волны 1.34 мкм неосновного перехода ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$. Получена генерация излучения в виде цуга из семи импульсов с общей энергией 0.25 Дж при энергии отдельного импульса 36 мДж и длительности импульса 150 нс.

Твердотельные лазеры с обращением волнового фронта (ОВФ) непосредственно в активной лазерной среде представляют интерес для исследователей и разработчиков лазерных систем, поскольку в данных лазерах возможно получить генерацию излучения с высокой энергией и качеством пучка, близким к дифракционному, без применения дополнительных управляющих элементов [1-4]. Расширение функциональных возможностей лазерных систем, основанных на применении ОВФ-лазеров, связано с освоением новых, практически значимых спектральных диапазонов. В связи с этим, актуальной задачей является получение ОВФ-генерации ИАГ:Nd³⁺-лазеров на длине волны 1.34 мкм неосновного перехода ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$. Данные лазеры интересны тем, что они могут быть использованы для получения методом вынужденного комбинационного рассеяния лазерного излучения в диапазоне 1.5-2.0 мкм, который является безопасным для органов зрения и перспективным для военного применения. Целью настоящей работы является экспериментальная реализация и исследование генерации ИАГ:Nd³⁺-лазера на $\lambda = 1.34$ мкм с открытым многопетлевым ОВФ-резонатором на голографических

решетках в активной лазерной среде в режиме пассивной модуляции добротности кристаллом ИАГ:V³⁺ при подавлении усиленного спонтанного излучения на $\lambda = 1.06$ мкм.

Схема экспериментальной лазерной установки представлена на рисунке 1.

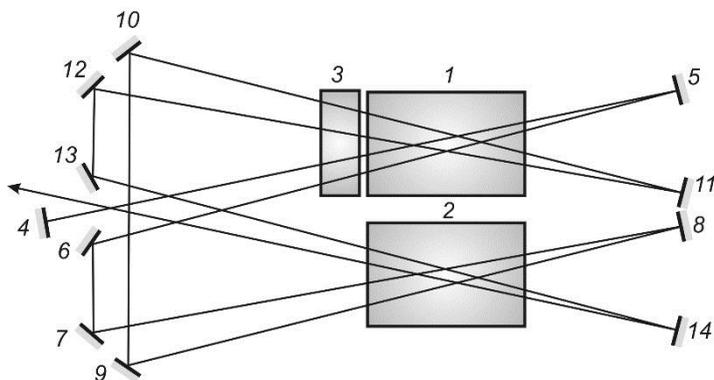


Рис. 1. Оптическая схема экспериментальной лазерной установки:
1, 2 – активные элементы ИАГ:Nd³⁺; 3 – пассивный лазерный затвор
ИАГ:V³⁺; 4 – 14 – зеркала резонатора

В лазерной установке были использованы два ИАГ:Nd³⁺-активных элемента с размерами $\text{Ø}6.3 \times 130$ мм² при накачке криптоновыми лампами КДНП-6/120А. Частота повторения импульсов накачки изменялась от 1 до 30 Гц при длительности импульса 400 мкс на полувысоте (емкость накопительных конденсаторов 100 мкФ) и энергии импульса до 72 Дж на одну лампу. Для управления режимом генерации и получения генерации цугов мощных наносекундных лазерных импульсов использовались ПЛЗ на кристаллах ИАГ:V³⁺ с начальным пропусканием $T_0 = 47, 59, 74$ и 84 %. Все зеркала резонатора имели отражающее покрытие с коэффициентом отражения на $\lambda = 1.34$ мкм более 99 %. Остаточное отражение зеркал на $\lambda = 1.06$ мкм составляло около 4 %.

В ходе экспериментов было обнаружено, что режим пассивной модуляции добротности с генерацией цуга

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

наносекундных импульсов в данной схеме реализуется только при использовании затвора с начальным пропусканием $T_0 = 74\%$. Для этого случая были исследованы энергетические, временные и пространственные параметры лазерной генерации на $\lambda = 1.34$ мкм.

Наибольшая энергия излучения была достигнута при частоте повторения импульсов накачки 2 Гц и энергии импульса накачки 72 Дж. В этом случае генерировался цуг из 7 лазерных импульсов с общей энергией 250 мДж при средней мощности излучения 0.5 Вт и энергии отдельного импульса 36 мДж. При частоте 7 Гц и энергии импульса накачки менее 50 Дж наблюдался наиболее быстрый рост энергии цуга импульсов и отдельного импульса излучения, что связано с действием термолинзы, которая обеспечивает подфокусировку пучков и способствует созданию оптимальных термооптических условий для формирования динамического ОВФ-резонатора. При этом средняя мощность лазерного излучения достигла 1.1 Вт. Энергия цуга из 4 лазерных импульсов составила 160 мДж при энергии отдельного импульса 40 мДж. При увеличении энергии импульса накачки до 60 Дж средняя мощность лазерного излучения достигла максимального значения 1.3 Вт, число импульсов в цуге увеличилось до 6, а энергия отдельного импульса уменьшилась до 32 мДж. При частоте повторения импульсов накачки 10 Гц увеличение энергии импульса накачки сопровождается возникновением чрезмерной термолинзы, приводящей к быстрому срыву генерации.

Измерение длительности отдельных лазерных импульсов производилось при частоте повторения импульсов накачки 2 Гц и 5 Гц. При частоте 2 Гц наименьшая длительность лазерного импульса составила 150 нс, а при частоте 5 Гц она немного увеличилась до 155 нс. При этом временной профиль генерируемых импульсов являлся гладким, что свидетельствует о режиме генерации, близком к одночастотному.

При измерениях расходимости и параметра качества излучения было установлено, что режим генерации является одномодовым с распределением интенсивности, близким к гауссовому. Расходимость излучения в поперечном направлении вдоль осей x и y составила не более 0.7 мрад. Параметр качества составил:

$$M_x^2 = 1.2; M_y^2 = 1.1.$$

Список литературы

1. *A. Soulard, S. Brignon, E. Raby, R. Durand, R. Moncorge.* Diode-pumped Nd:YAG self-adaptive resonator with a high-gain amplifier operating at 100 Hz // *Appl. Phys. B.* 2012. №106. P. 295–300.
2. *M Kaskow, W Zendzian, J.K. Jabczynski, L Gorajek, J Kwiatkowski, M Piasecki.* Passively Q-switched Nd:YAG laser with diffractive output resonator // *Laser Phys. Lett.* 2014. №11. P. 115813–115818.
3. *Погода А.П., Сметанин С.Н., Ериков М.Н., Хахалин И.С., Лебедев В.Ф., Борейшо А.С.* Голографическая самомодуляция добротности ИАГ:Nd³⁺-лазеров с диодной накачкой и пассивным затвором на кристалле ИАГ:Cr⁴⁺ // *Химическая физика.* 2015. Т. 34. № 8. С. 15–20.
4. *Басиев Т.Т., Гаврилов А.В., Ериков М.Н., Сметанин С.Н., Федин А.В., Бельков К.А., Борейшо А.С., Лебедев В.Ф.* Петлевые лазерные резонаторы на самокачающихся ОВФ-зеркалах в слабо усиливающих активных средах для сфазированных многоканальных лазерных систем // *Квантовая электроника.* 2011. Т. 41. № 3. С. 207–211.

YAG:Nd LASER AT 1.34- μ m WAVELENGTH WITH PHASE CONJUGATION AT HOLOGRAPHIC NON-PRIMARY TRANSITION POPULATION GRATINGS

Korovin S., Chunaev A.

Supervisor: M. Ershkov, docent

(Kovrov State Technological

Academy named after V.A. Degtyarev, Kovrov)

The results of an experimental study of the YAG: Nd-laser generation with phase-conjugation at 1.34- μ m wavelength of the non-primary ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ transition are presented. The radiation was generated in the form of a train of

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

seven pulses with a total energy of 0.25 J with a single pulse energy of 36 mJ and a pulse duration of 150 ns.

УДК 621.372.8

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПОЛЯ В ДАЛЬНОЙ ЗОНЕ АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Кузьмин К.И.

Научный руководитель: В.И. Воронов, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В докладе представлены результаты интерполяции поля в дальней зоне лазерного излучателя атмосферной оптической линии связи (АОЛС) при учете искажений, вызванных флуктуациями атмосферы. Выполнено сравнение эффективности трех типов интерполяции. Показана эффективность рассмотренных методов для расчета поля в условиях сильных искажений лучевых потоков на трассе распространения.

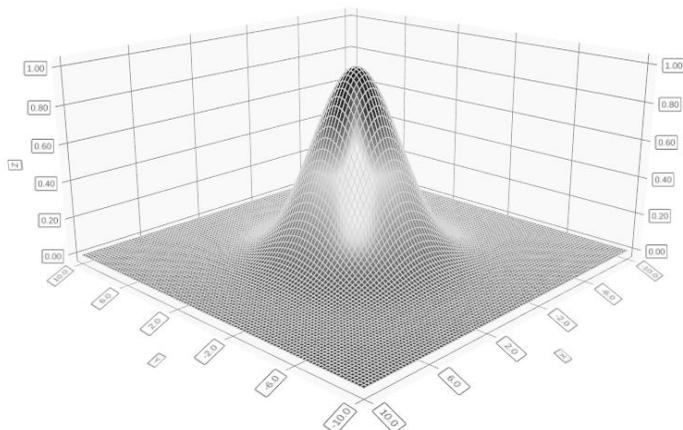
Атмосферные оптические линии связи (АОЛС) или Free space optics (FSO) используют для передачи информации модулированные световые волны инфракрасного диапазона. Современное состояние технологии позволяет создавать надежные каналы связи на расстояниях от 100 метров до 5 километров. При отсутствии искажений поля на трассе распространения зависимость амплитуды лазерного пучка от координат x и y в точке приема на расстоянии z от излучателя определяется по формуле:

$$E(x, y, z) = E_0 \cdot \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\omega^2(z)}\right) \quad (1)$$

где E_0 – максимальная величина амплитуды на оси, а $\omega(z)$ – радиус пучка в поперечном сечении.

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

а



б

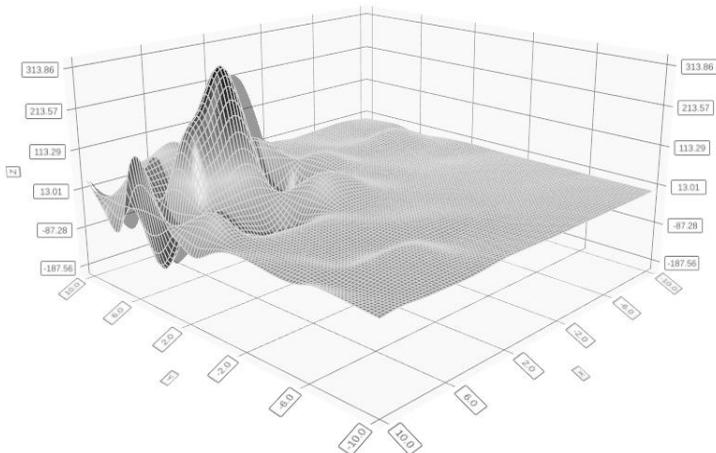


Рис. 1. Амплитудные распределения поля лазерного излучателя в дальней зоне: рис. 1а) соответствует отсутствию искажений /построен по формуле (1)/; рис. 1б) характеризует поле в условиях сильных искажений.

Вместе с тем флуктуации показателя преломления на трассе распространения пучка могут сильно исказить конечное ампли-

тудно-фазовое распределение (АФР) поля. На рисунке 1 представлены возможные распределения поля.

Расчет АФР поля лазерных излучателей может быть выполнен с использованием метода «зондирования» так, как это предложено в [1]. Однако в зоне приема в случае сильных искажений координаты проходящих лучей оказываются не эквидистантными, что вызывает значительные трудности расчета конечного АФР.

Решением данной задачи является использование интерполяции полученных данных. При этом возникают вопросы, связанные с выбором наиболее оптимального алгоритма интерполяции, с влиянием не эквидистантности координат и с установлением числа точек, интерполяция по которым дает максимально допустимую погрешность.

Для сравнения были выбраны алгоритмы интерполяции тремя типами сплайнов: линейным, кубическим и сплайном Акима, информацию о которых можно найти в [2]. С целью оценки эффективности этих методов интерполяции на одном и том же наборе данных проведено исследование величины среднеквадратичного отклонения (СКО), полученного в результате сравнения интерполяционных данных с реальными. На рисунке 2 приведены графики зависимости СКО от количества точек по каждой оси для этих сплайнов:

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

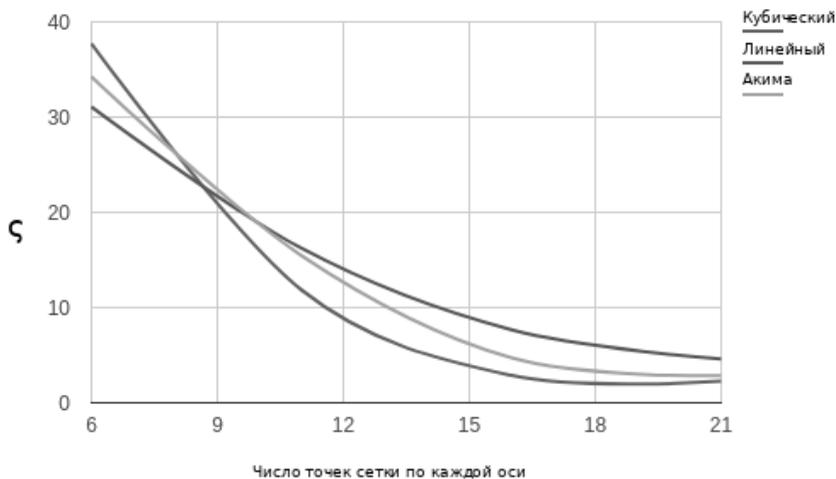


Рис. 2. Зависимость СКО при различных типах сплайнов и числа точек

Полученные результаты показывают в данной задаче высокую эффективность интерполяции с использованием кубических сплайнов в отличие от линейных сплайнов и сплайнов Акима. Однако при выборе метода интерполяции стоит опираться на характер исходных данных задачи. Нельзя исключать случай, когда среди относительно устойчивых данных могут появиться точки, далеко отстающие от своих соседей, что в результате приведет к появлению выбросов в результирующей интерполирующей функции в тех местах, где их быть не должно.

Стоит также отметить, что приемлемым результатом можно считать величину СКО меньше 5, что в данном случае соответствует числу точек больше 15.

Список литературы

1. *Воронов В.И.* Численное моделирование сложных лазерных резонаторов и систем формирования излучения на основе методов лучевой и дифракционной оптики: автореф. дис. д-ра техн.

наук. Казан. гос. тех. университет, Казань 1997.

2. Круковец А.С., Горелкин Г.А. Разработка метода интерполяции значений номограммы // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 5. Ч. 2 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/05/53846> (дата обращения: 26.05.2017).

THE COMPARISON OF VARIOUS TYPES OF INTERPOLATION OF THE FIELD IN THE FAR ZONE OF FREE-SPACE OPTICAL SYSTEMS

Kuzmin K.

Supervisor: V. Voronov, doctor of technical science, professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan*)

The report presents the results of field interpolation in the far zone of the laser emitter of the Free-space optical (FSO) system, the distortions caused by atmospheric fluctuations has taken into account. The effectiveness of the three types of interpolation has compared. The effectiveness of these methods of calculating the field in conditions of strong distortions of the laser beams on the propagation path has shown.

УДК 612.816:591:577.175.822

**РЕГИСТРАЦИЯ КАЛЬЦИЕВОГО
ТРАНЗИЕНТА В ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ СИНАПСАХ
МЫШИ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ
ДВИГАТЕЛЬНОГО НЕРВА**

*Латфуллин А.Р.², Жиляков Н.В.^{1,3},
Самигуллин Д.В.^{1,2,3}*

¹Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН,
²Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, ³Казанский
(Приволжский) Федеральный Университет, г. Казань)

Процесс передачи возбуждения в нервно-мышечном синапсе состоит из нескольких этапов. Нервный импульс, деполяризуя нервное окончание, инициирует вход ионов кальция и последующий выброс нейромедиатора, который впоследствии взаимодействует с рецепторами мышечного волокна. При нормальных физиологических условиях в организме передача информации происходит пачками таких импульсов, генерируемых с определенной частотой. Поэтому исследование входа кальция в нервное окончание при частотной стимуляции является актуальной задачей нейрофизиологии. Для анализа входа кальция в нервном окончании используют оптические методы регистрации с применением кальций-чувствительных флуоресцентных красителей, которые при связывании с ионами кальция изменяют интенсивность свечения (Ca^{2+} транзиент). Исследования проводились на изолированном нервно-мышечном препарате *m. Levator auris longus* мыши. Для оценки уровня кальция была разработана методика загрузки флуоресцентных красителей в нервном окончании теплокровных животных через культуру нерва. Применялись 2 вида флуоресцентных красителей высокоаффинный Oregon Green Bapta 1 и низкоаффинный Magnesium Green. Константа диссоциации Oregon Green Bapta 1 для Ca^{2+} в отсутствии Mg^{2+} составляет 170нМ, а константа диссоциации Magnesium Green равна 1мкМ. Их отличие заключается во

времени существования комплекса кальциевого красителя с ионами кальция. Регистрация Ca^{2+} транзиента осуществлялась при помощи высокоскоростной камеры Neuro CCD SMQ (Redshirt Imaging). При изменении частоты с 10Гц до 20Гц в высокоафинной краске кальциевый транзистент увеличивался на 40%. Время стимуляции составляло 20 секунд. Увеличение амплитуды кальциевого транзиента связано с накоплением кальция в нервном окончании во время частотной стимуляции нерва. При увеличении длительности стимуляции до 60 секунд и увеличении частоты стимуляции с 20Гц, до 50Гц, и 70Гц, оказалось, что увеличение до 70Гц не приводило к дальнейшему увеличению амплитуды кальциевого транзиента. Это может свидетельствовать о том, что высокоафинный кальциевый краситель насытился и не может корректно отражать изменение концентрации кальция при высоких частотах стимуляции. Для проверки этого предположения использовалась низкоафинная краска. При увеличении частоты стимуляции с 20 до 100 гц амплитуда кальциевого транзиента, зарегистрированного в нервных окончаниях загруженных низкоафинным кальциевым красителем увеличивалась. Это свидетельствует о том, что низкоафинный кальциевый краситель более корректно отражает пресинаптический уровень кальция при повышенной частоте стимуляции.

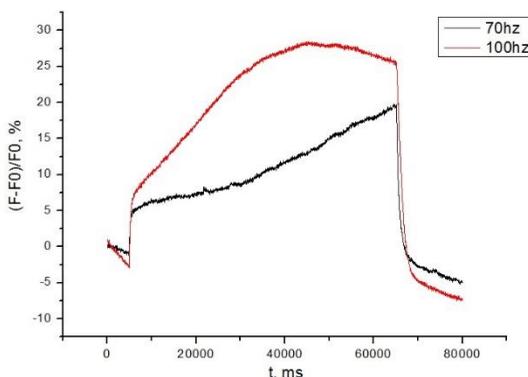


Рис. 1. Изменение кальциевого транзиента $(F-F_0)/F_0$ при стимуляции 60 секунд

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

При частоте стимуляции 70 Гц на кривой кальциевого транзientа наблюдается излом, это может свидетельствовать о включении дополнительного источника кальция. Например, о выбросе кальция из эндоплазматического ретикулула.

Работа поддержана грантами: РФФИ № 16-04-01051; Президиума РАН «Механизмы интеграции молекулярных систем при реализации физиологических функций». Работа частично выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

**REGISTRATION OF CALCIUM TRANSIENT
IN PERIPHERAL MOUSE SYNAPSES
WITH HIGH-FREQUENCY STIMULATION
OF THE MOTOR NERVE**

Latfulln A.R.², Zhilyakov N.V.^{1,3}, Samigullin D.V.^{1,2,3}

*(¹Kazan institute of Biochemistry and Biophysics
of Kazan science centre of the Russian academy of science,*

*² Kazan National Research Technical University named
after A.N. Tupolev-KAI, ³Kazan federal university, Kazan)*

The process of transmission of excitation in the neuromuscular synapse consists of several stages. The nervous stimulus, depolarizing the nerve end, initiates the entry of calcium ions and the subsequent release of the neurotransmitter, which subsequently interacts with the muscle fiber receptors.

УДК 621.396.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВБР С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

Малых Д.В., Файзуллин Р.И.

Научный руководитель: П.Е. Денисенко, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе представлены результаты расчета характеристик волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом и простой метод их изготовления на одномодовом волокне с возможностью выбора центральной длины волны в широком диапазоне.

Характеристики ВБР с фазовым π -сдвигом могут быть численно описаны комплексным методом, основанным на методах связанных мод и матриц передачи, которые известны как точные и эффективные методы численного моделирования. Характеристики ВБР описываются произведением матриц 2×2 каждого однородного элемента решетки, что позволяет в итоге получить полную матрицу передачи ВБР. ВБР разбивается на N однородных секций, для которых определяются коэффициенты отражения R_i и пропускания S_i как амплитуды распространяющихся вперед и назад мод после прохождения i -ой секции [1]:

$$\begin{pmatrix} R_i \\ S_i \end{pmatrix} = F_i \begin{pmatrix} R_{i-1} \\ S_{i-1} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

Вычислим коэффициент передачи

$$T(\lambda) = \left(\left| F(\lambda)_{11} - \frac{F(\lambda)_{12}F(\lambda)_{21}}{F(\lambda)_{22}} \right| \right)^2, \quad (2)$$

Для обеспечения фазового π -сдвига введем матрицу T_φ между матрицами $F_{(i,\lambda)}$ и $F_{(i+1,\lambda)}$:

$$T_\varphi = \begin{bmatrix} \exp(-\varphi i) & 0 \\ 0 & \exp(\varphi i) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где φ – угол, на который сдвигается фаза.

Исходя из вышеописанных формул получаем коэффициент передачи ВБР с фазовым сдвигом:

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

$$T_{\varphi}(\lambda) = \left(\left| F_{\varphi}(\lambda)_{11} - \frac{F_{\varphi}(\lambda)_{12}F_{\varphi}(\lambda)_{21}}{F_{\varphi}(\lambda)_{22}} \right| \right)^2, \quad (4)$$

Используя данные [1], получим спектральные характеристики ВБР для двух значений модуляции коэффициента преломления, с фазовым сдвигом, представлены на рисунке 1.

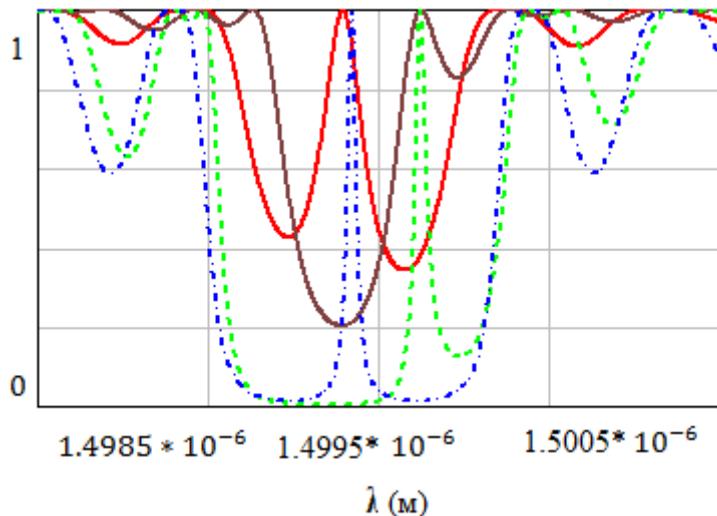


Рис. 1. Спектральная структура ВБР с фазовым π -сдвигом $\varphi = 45^\circ, \varphi = 90^\circ$

- а) пунктирной линией модуляции коэффициента преломления 0.0005
- б) сплошной линией модуляции коэффициента преломления 0.0002

На рисунке 2 показана зависимость, полученной ширины окна прозрачности на полувысоте в зависимости от коэффициента модуляции [2].

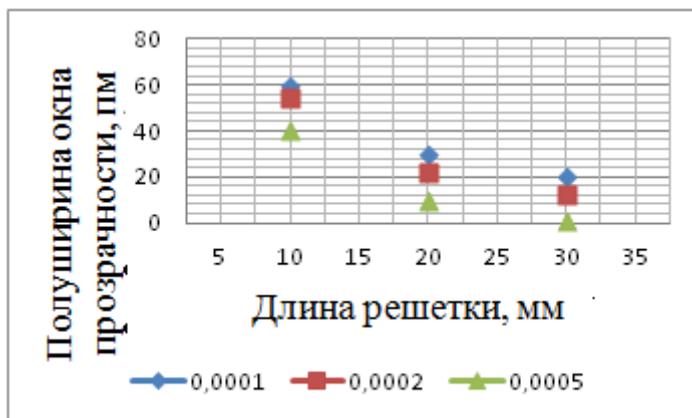


Рис. 2. Зависимость ширины окна прозрачности решетки на полувысоте от ее длины и глубины коэффициента модуляции

В данной работе описывается простой метод изготовления высококачественных ВБР с фазовым сдвигом с различной центральной длиной волны решетки с использованием стандартных методов записи на оптическом волокне ВБР при последовательном двойном воздействии UV-лазера на волокно. Две стандартные ВБР записаны на одной и той же длине волны, так что они имеют пространственное перекрытие, эквивалентное одному периоду решетки. Эта процедура повышает локальный показатель преломления центрального пересечения двух ВБР, приводя к образованию фазового сдвига. Процесс изготовления не занимает много времени позволяет записать ВРБ на любой длине волны и позволяет изготовить высококачественные ВБР с фазовым сдвигом. В качестве установки для записи ВБР использовались аргоновый лазер "Инверсия" Ag-5.5-150 и интерферометр Ллойда. Для детектирования записанной ВБР использовались широкополосный источник излучения и оптический анализатор спектра [4].

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

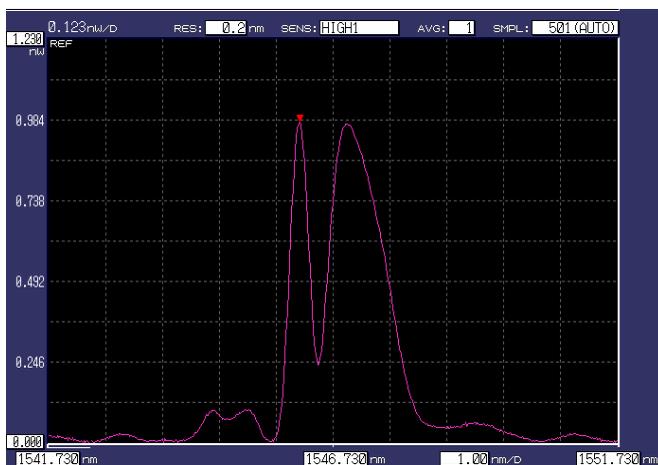


Рис. 4. спектр ВБР сдвинутым по фазе

ВБР длиной 3 мм, была записана на одномодовом волокне с центральной длиной волны около 1546,7 нм с коэффициентом отражения 30%. После того как первая ВБР была записана, UV-лазер был заблокирован от попадания на оптическое волокно, после чего волокно с ВБР было сдвинуто относительно лазера менее чем на 3мм, после лазер снова был направлен на волокно, после чего вторая ВБР с той же центральной длиной волны была записана на то же волокно, используя те же условия изготовления, что и раньше. Процесс изготовления останавливается после того, как центральный провал в спектральной характеристике решетки достигнет максимальной глубины, и когда пики с обеих сторон достигнут приблизительно одинаковых значений коэффициента отражения. На рис.4 показан спектр записанной ВБР. ВБР с фазовым сдвигом приблизительно вдвое превышает длину отдельных ВБР.

Был проведен математический анализ ВБР с фазовым сдвигом, а также реализован метод записи ВБР, который возможен с использованием аргонового лазера и интерферометрических схем записи. Данные ВБР могут найти применение в области волоконно-оптических сенсорных систем для измерения и контроля точных значений параметров физических полей.

Список литературы

1. *Куприянов В.Г.* Маломодовые методы зондирования волоконно-оптических датчиков на основе решеток Брэгга с фазовым π -сдвигом в системах охраны периметра: дис. канд. тех. наук. – К., 2013. – С. 106–108.
2. *Нуреев И.И.* Моделирование спектральных характеристик фазированных волоконных решеток Брэгга как датчиков сенсорных систем / И.И. Нуреев // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 350-350.
3. *Chehura, Edmon.* A simple method for fabricating phase-shifted fibre Bragg gratings with flexible choice of centre wavelength / Edmon Chehura, Stephen W. James, and Ralph P. Tatam / Proc. of SPIE. – 2009. – V. 7503. – P. 750379.

УДК 621.396.1

**РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК КОЭФФИЦИЕНТОВ
ОТРАЖЕНИЯ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ.
ЧАСТЬ 1. ДИАПАЗОН ОТ 2,5 ДО 5 ГГц**

Маршова А.М.

Научный руководитель: Д.А. Веденькин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В данной работе проведено исследование коэффициента отражения при помощи компьютерного моделирования. Проведён анализ при использовании трёх типов плетения.

Достоинства использования сетчатых материалов заключаются в том, что они позволяют удовлетворить заданные требования (в частности получения высокого коэффициента отражения), при этом мы остаёмся в выигрыше по весу и экономичности изделия (как было отмечено выше).

В наше время резонансный метод [1] с использованием волноводов проработан мало. Область использования метода безгранична, в данной работе он будет применен при конструировании антенн для космических аппаратов. Если подобрать такой тип плетения, в котором рассматриваемые параметры будут самыми выигрышными, мы получим удешевлённую конструкцию с максимальную выгоду при её проектировании. Так же возможно использование принципа сфокусированной апертуры для контроля параметров протяжённых сеток. Свойства сфокусированных решёток представлены в работах [2–4].

Анализ параметров материалов будет осуществляться с помощью компьютерного моделирования [5]. Они будут напрямую зависеть от типа плетения проводника.

В данной работе будут проанализированы три различных типа плетения сетки.

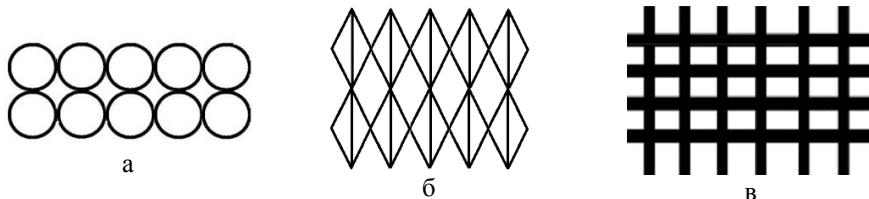


Рис. 1. Виды плетений: а – кольчужная сетка; б – сетка «ромб с одной диагональю»; в – сетка с прямоугольным плетением»

В диапазоне от 2,5 до 3,3 ГГц были получены следующие результаты.

При сравнении всех трёх плетений с $k = 1$ (где k – расстояние между параллельными проволоками в плетении), заметно, что плетение «ромб с одной диагональю» заметно выигрывает по коэффициентам отражения и передачи. То же самый выигрыш виден и при $k = 2; 3; 3,5; 4; 5$ мм.

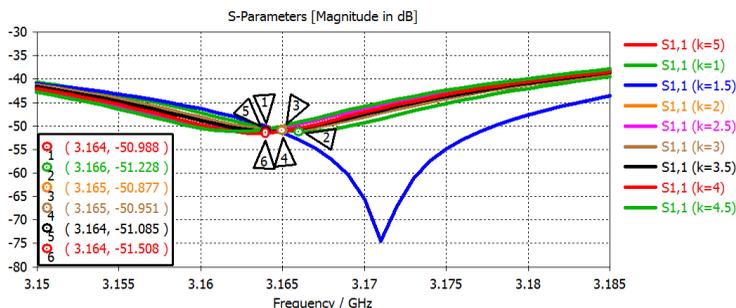


Рис. 2. Графики семейства S_{11} при использовании сетки «ромб с одной диагональю»

В случаи $k = 1,5$ мм преимущество в параметрах остаётся за 3 плетением (сеткой с прямоугольным плетением). А при $k = 2,5$ мм лучший показатель так же - у сетки с прямоугольным плетением.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

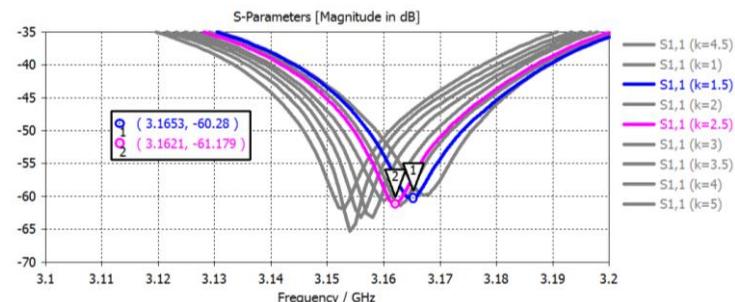


Рис. 3. Графики семейства S_{11} при использовании сетки прямоугольного плетения

Кольчужная сетка оказалась лучшим вариантом лишь при $r = 4,5$ мм (где r – изменяемый в ходе эксперимента диаметр проволоки).

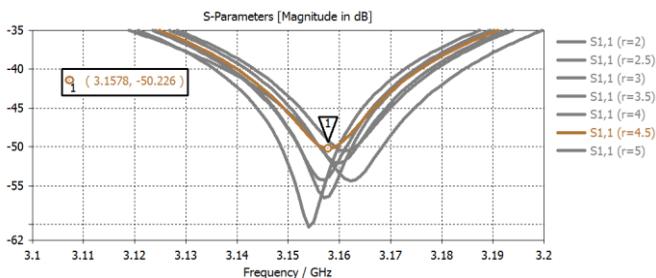


Рис. 4. Графики семейства S_{11} при использовании кольчужной сетки

При рассмотрении диапазона частот от 3,4 до 5 ГГц. Для частот от 3,4 до 4,9 ГГц лучшей по показателям коэффициентов S_{11} и S_{21} , при $k = 1; 1,5; 2; 2,5; 3,5; 4; 4,5; 5$ мм оказалась сетка с прямоугольным плетением.

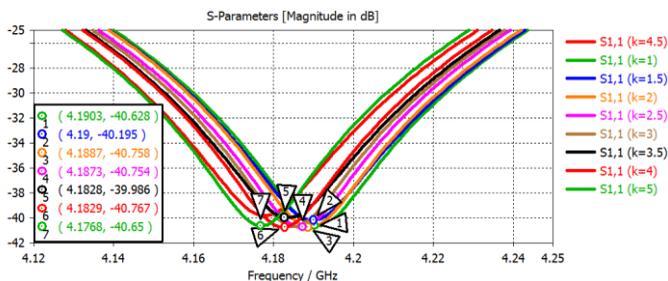


Рис. 5. Графики семейства S_{11} при использовании сетки прямоугольного плетения

Для $k = 3$ мм сетки «ромб с одной диагональю» и прямоугольным плетением показали отличный результат по сравнению с перфорированной сеткой.

Выводы из приведённых результатов моделирования можно сделать следующие:

1. При моделировании на частоте от 2,5 до 3,3 ГГц самым многофункциональным плетением оказалась сетка со структурой «ромб с одной диагональю» - она использовалась в более половины рассматриваемых вариантов.

2. В диапазон от 3,4 до 5 ГГц преимущество осталось за прямоугольным плетением (оно использовалось в 8 из 9 представленных вариантов).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части Государственного Задания №8.6872.2017/БЧ.

Список литературы

1. Ведынкин, Д.А. Оценка параметров материалов резонансным методом // Д.А. Ведынкин, Насыбуллин А.Р., Хабибуллин Р.Р. // Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2016. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 149–151.
2. Ведынкин, Д.А. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Ю.Е. Седелников. //

Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86–88.

3. *Веденькин, Д.А.* Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных лета-тельных аппаратов / Ю.Е. Седельников. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. № 4. С. 40–46.

4. *Vedenkin, D.A.* Antennas, focused in the near radiated field zone. features and technical application / O.V. Potapova, Y.E. Sedelnikov // В сборнике: 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT 2013 2013. С. 560–565.

5. *Веденькин, Д.А.* / Моделирование антенны для исследования управляемой частотно-селективной поверхности / Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е., Ишкаев Т.М. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 156–158.

**CALCULATION CHARACTERISTICS
OF REFLECTION COEFFICIENTS OF NET
MATERIALS USING COMPUTER MODELING.
PART 1. RANGE 2.5 TO 5 GHz**

Marshova A.

Supervisor: D. Vedenkin, PhD, Associate professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

In this paper, the reflection coefficient was studied by computer simulation. The analysis was carried out using three types of weaving.

УДК 621.396.1

**РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК КОЭФФИЦИЕНТОВ
ОТРАЖЕНИЯ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ.
ЧАСТЬ 2. ДИАПАЗОН ОТ 5,1 ДО 10 ГГц**

Маршова А.М.

Научный руководитель: Д.А. Веденькин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

Данный доклад посвящён анализу коэффициента отражения в диапазоне от 5,1 до 10 ГГц при помощи компьютерного моделирования. При моделировании использовались различные типы плетения.

Сетчатые материалы получили широкое распространение во многих сферах [1]. Они позволяют создавать прочное, надежное и долговечное покрытие для широкого диапазона применения, от заборов до покрытия антенн. В работе [2] подробно представлены достоинства и недостатки сетчатых материалов.

Моделирование будет производиться в программе CST STUDIO SUITE® Student Edition. Будут спроектированы 2 волновода: для диапазона частот от 5,1 ГГц до 7 ГГц, и от 7,1 ГГц до 10 ГГц. Модель волноводного тройника в разрезе представлена на рисунке 1.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

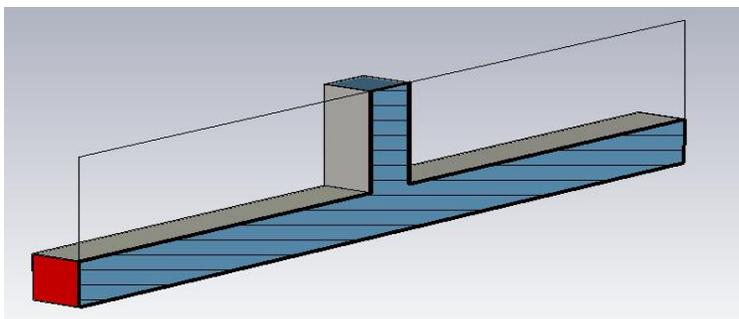


Рис. 1. Волноводный тройник в разрезе

Модели используемых при моделировании сеток представлены на рисунках 2 а – в. Их подробное описание представлено в первой части доклада.

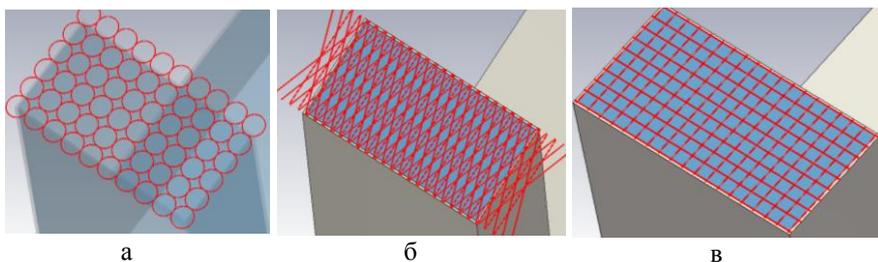


Рис. 2. модели плетений сетки а – кольчужная сетка;
б – сетка «ромб с одной диагональю» в – прямоугольное плетение

При анализе коэффициента отражения сетчатых материалов в диапазоне от 5,1 до 7 ГГц были получены следующие результаты:

1. Сетка типа «ромб с одной диагональю» показала себя лучшей при $k = 1$ мм. На рисунке 3 представлен детальный график, на котором показано, как изменяется коэффициент отражения S_{11} при изменении k (расстояния между параллельными проволоками в плетении).

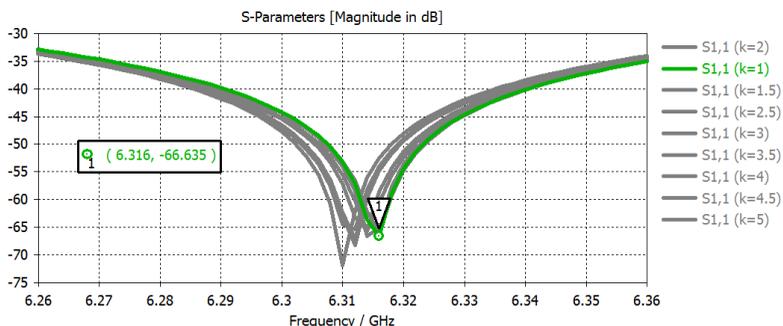


Рис. 3. Детальный график S_{11} с использованием сетки «ромб с одной диагональю»

2. В случае, где $k = 1,5; 2; 2,5; 3$ мм на первом месте по показателям оказалась сетка с прямоугольным плетением (см. рис. 4).

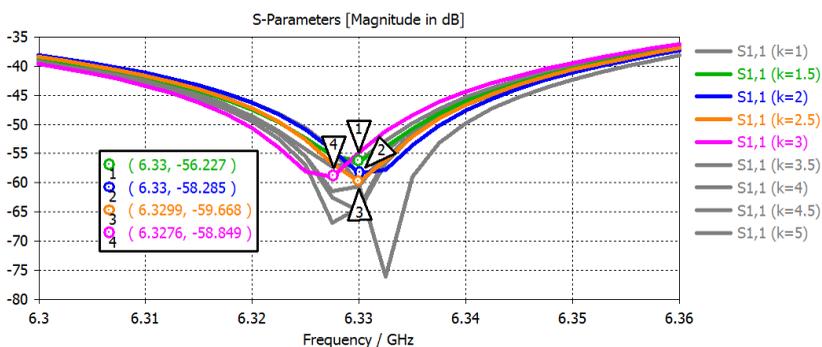


Рис. 4. Детальный график S_{11} с использованием прямоугольной сетки

3. Кольчатая сетка является лучшим выбором при $r = 3,5; 4; 4,5; 5$ мм (см. рис. 5).

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

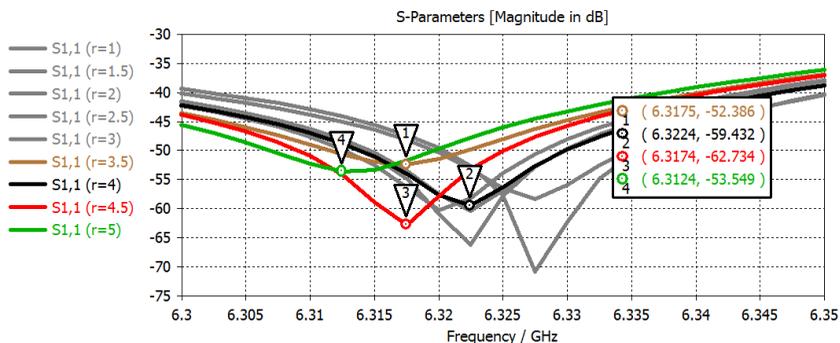


Рис. 5. Детальный график S_{11} с использованием кольцевой сетки

При моделировании в диапазоне частот от 7,1 до 10 ГГц лучшие результаты при всех девяти вариантах диаметров моделирования показала кольцевая сетка (см. рис. 6).

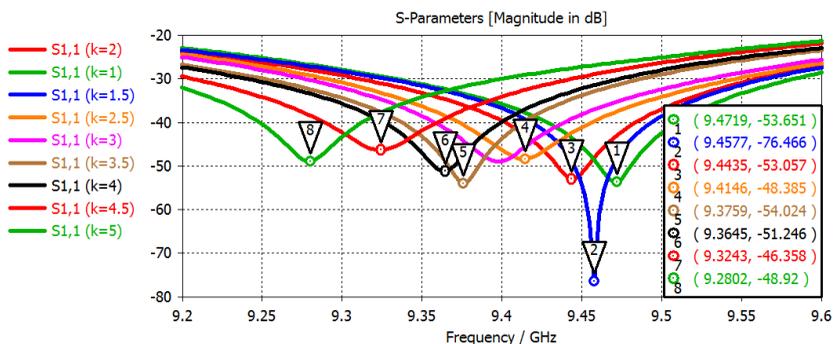


Рис. 6. Детальный график S_{11} с использованием кольцевой сетки

Результаты выполненных мной исследований позволяют сделать следующий вывод о том, что для каждого интервала частоты и для каждого диаметра кольца либо расстояния между проволоками показатели S_{11} и S_{21} отличаются (хоть и не координально, но ощутимо). Поэтому при проектировании конструкции нужно проводить анализ нескольких типов плетения, чтобы найти лучший вариант, отвечающий заданным параметрам. Так же при проектировании нужно сделать упор на свойства ткани.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части Государственного Задания №8.6872.2017/БЧ.

Список литературы

1. *Романов, А.Г.* Методы и средства контроля отражающих свойств материалов, применяемых в конструкциях рефлекторов антенн космических аппаратов: дис. / А.Г. Романов. – КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, 2014. – 160 стр.
2. <http://ardiss.ru/o-nas/poleznaya-informacziya/stati-po-teme-stroitelstva/sjetchatye-matjerialy-dlja-izgotovljenija-zaborov-pljusy-i-vidy/> Дата обращения: 15.05.2017

CALCULATION CHARACTERISTICS OF REFLECTION COEFFICIENTS OF NET MATERIALS USING COMPUTER MODELING. PART 2. RANGE 5.1 TO 10 GHz

Marshova A.

Supervisor: D. Vedenkin, PhD, Associate professor
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)*

This report is devoted to the analysis of the reflection coefficient in the range from 5.1 to 10 GHz using computer simulation. Various types of weaving were used in the simulation.

УДК 535.1

КВАНТОВАЯ КОММУНИКАЦИЯ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ С ГЕТЕРОДИННЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ

Мельник К.С., Глейм А.В.

Научный руководитель: А.В. Глейм, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Предложена схема гетеродинного детектирования в системе квантовых коммуникаций на боковых частотах. Для регистрации фотонов используется метод квантовой коммуникации на непрерывных переменных.

Устройства квантовой коммуникации на боковых частотах позволяют формировать ключ в волоконно-оптических линиях связи позволяют существенно повысить эффективность использования полосы пропускания волоконно-оптических линий связи при построении квантовых коммуникационных сетей [1–3]. Для регистрации квантового сигнала в таких устройствах, при этом, традиционно применяется счет одиночных фотонов, что существенно усложняет подсистему регистрации квантовых состояний.

Альтернативным подходом является метод квантовой коммуникации на непрерывных переменных, предложенный в работе [4]. Регистрация квантового состояния при этом осуществляется посредством гомодинного (гетеродинного) детектирования. Однофотонные детекторы, при этом, не требуются.

В работе предложена схема гетеродинного детектирования в системах квантовых коммуникаций на боковых частотах. Рис. 1.

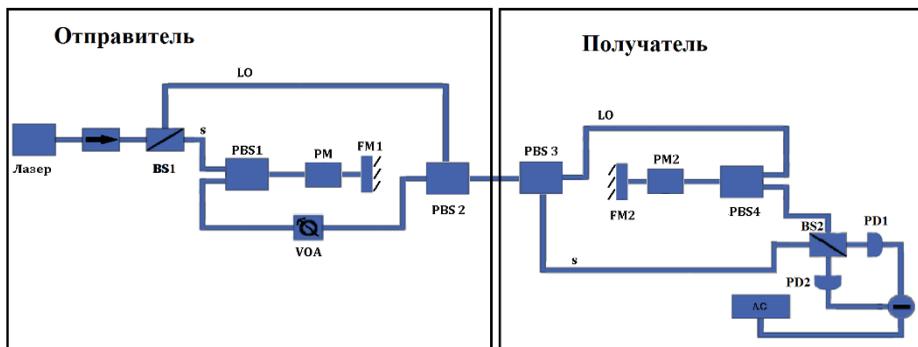


Рис. 1. Принципиальная схема системы квантовой коммуникации на боковых частотах с гетеродинным детектированием, с внесением временной задержки. LO – гетеродинный сигнал, S – сигнальная составляющая, PM – фазовые модуляторы, BS1 – оптоволоконный светоделитель 99/1; BS2 – оптоволоконный светоделитель 50/50, VOA – управляемый оптический аттенюатор, PBS – поляризационный делитель, FM – фарадеевское зеркало, PD1, PD2 – фотодетектор

Источник генерирует лазерный сигнал, который, проходя через оптоволоконный светоделитель BS1, делится на два сигнала: гетеродинный (сильный сигнал) и сигнальную составляющую (однофотонная составляющая). Сигнальная составляющая, проходя через PBS1, попадает в фазовый модулятор, в котором она случайным образом модулируется по фазе радиочастотным сигналом с частотой нескольких ГГц, что приводит к формированию боковых лепестков в спектре. Далее сигнал отражается от фарадеевского отражателя и вновь отправляется на PBS1. В результате изменения поляризации, сигнал уходит в нижнее плечо, и ослабляется на управляемом оптическом аттенюаторе, проходит через PBS2 и направляется к получателю. Гетеродинный сигнал проходит более короткий путь до PBS2 и поэтому приходит раньше сигнальной составляющей, в результате между LO и S появляется временная задержка. Благодаря фарадеевскому зеркалу, сигналы имеют ортогональную друг другу поляризацию. Гетеродинный сигнал проходя через PBS3 отправляется на PBS4. После прохождения через него LO попадает в фазовый модулятор, в котором он случайным обра-

зом модулируется по фазе радиочастотным сигналом с частотой нескольких ГГц, что приводит к формированию боковых лепестков в спектре. Таким образом, оба сигнала приобретают боковые частоты. Далее LO отражается от фарадеевского зеркала, изменяя поляризацию и проходя через PBS4, отправляется на BS2. Сигнальная составляющая, после прохождения через PBS3 отправляется на BS2. Гетеродинный сигнал и сигнальная составляющая на участке от BS1 до BS2 проходят одинаковое расстояние. Благодаря этому на BS2 сигналы приходят одновременно и происходит их детектирование на балансной гетеродинной схеме.

Список литературы

1. Richard Hughes. Quantum Key Distribution – The Science of Secret Communication // © 2005 Optical Society of America.
2. A. Ortigosa-Blanch and J. Capmany. Subcarrier multiplexing optical quantum key distribution // 27 February 2006 Phys. Rev. A 73, 024305
3. Gleim, A. V.; Egorov, V. I.; Nazarov, Yu. V.; Smirnov, S. V.; Chistyakov, V. V.; Bannik, O. I.; Anisimov, A. A.; Kynev, S. M.; Ivanova, A. E.; Collins, R. J.; Kozlov, S. A.; Buller, G. S. Secure polarization-independent subcarrier quantum key distribution in optical fiber channel using BB84 protocol with a strong reference // 2016 Optics Express 24(3) 2619–2633.
4. Anthony Leverrier and Philippe Grangier. Continuous-variable quantum-key-distribution protocols with a non-Gaussian modulation // 11 April 2011 Phys. Rev. A 83, 042312 – Published

QUANTUM COMMUNICATION AT SIDE FREQUENCIES WITH HETERODINE DETECTION

Melnik K., Gleim A.

Supervisor: A. Gleim, PhD

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*

Heterodyne detection scheme is proposed in a system of quantum communications frequencies on the side. To register photons, the method of quantum communication on continuous variables is used.

УДК 531.7

**РАЗРАБОТКА ОПТОЭЛЕКТРОННОГО
ПРИЕМНОГО ТРАКТА СИГНАЛОВ ОТ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ВИБРАЦИИ**

Мосин Р.О., Садчиков В.В.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

**DEVELOPMENT OF AN OPTOELECTRONIC
RECEIVING PATH FOR SIGNALS FROM
A FIBER-OPTIC VIBRATION SENSOR**

Mosin R., Sadchikov V.

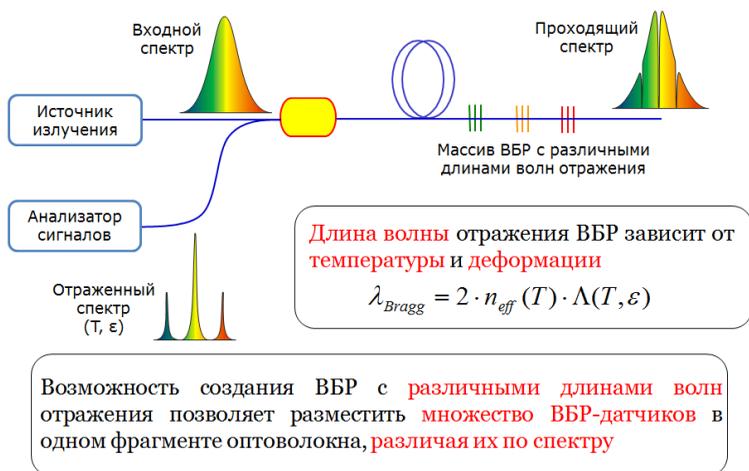
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev—KAI, Kazan)*

Из за быстрого развития автоматизированных систем контроля и управления во многих областях промышленности возрасла необходимость в датчиках физических величин. Из-за чего датчики получили широкое распространение в различных сферах деятельности. Самыми перспективными на данный момент являются волоконные датчики. ВД вытесняют, самые распространенные, электрические датчики, так как имеют ряд преимуществ, которые позволяют выполнять недоступные для электрических датчиков задачи. Одной из областей применения является авиация. С помощью ВД осуществляется мониторинг нагрузок в реальном времени. Так же они используются для формоконтроля крыльев самолета в режиме полета и термопрофилирования топливных патрубков. Еще одна сфера применения ВД – строительство. К примеру только при постройке стадиона в Афинах, для проведения Олимпийских игр, было использовано несколько линий, по тридцать два датчика деформации в каждой, двадцать пять датчиков температуры. Все это

было предназначено для постоянного мониторинга состояния сооружения в течение всего срока эксплуатации.

Одна из задач, которую требуется рассмотреть, проектирование оптоволоконного датчика вибрации. В основу принципа работы данного прибора лежит модуляция одного или нескольких свойств распространяющейся световой волны (интенсивность, фаза, поляризация, частота), изменение которых происходит вместе с изменением измеряемой физической величины.

Во время прохождения светового излучения через брэгговскую решетку, отражения от каждой части области с переменным показателем преломления интерферируют только для определенной длины волны света. Это приводит к тому, что ВБР отражает конкретные длины волн света, называемой длиной волны Брэгга (λ_b), и пропускает все остальные.



При механическом воздействии на оптоволоконно с решеткой Брэгга, ширина сегментов изменяется вместе с значением отраженной длины волны, детектируя эти изменения мы можем провести мониторинг самого воздействия на решетку (вибрации, расширения, сужения).

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

Список литературы

1. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы – 2001. Скляр О.В. Константиневич.
2. Волоконно-оптические датчики 2008 .Э.Удд 2008-600М
3. Микроэлектронные фотонные устройства О.В. Смолин. М.Л. Баранчиков. 1984 г.

УДК 621.372.85

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ
ЯЧЕЕК ПЕРИОДИЧЕСКОЙ БРЭГГОВСКОЙ
СТРУКТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКУ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СВЧ ВОЛНОВОДА**

Насыбуллин А.Р., Ишкаев Т.М.

Научный руководитель: А.Р. Насыбуллин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева — КАИ, г. Казань)

В данном докладе рассматривается влияние конфигураций ячеек периодической брэгговской структуры на характеристику диэлектрического цилиндрического волновода. В докладе кратко представлены результаты компьютерного моделирования таких структур.

Наблюдающийся на современном этапе научно-технического развития трансфер оптических и радиочастотных технологий обусловлен повышенным интересом к таким устройствам. Исследование свойств таких устройств в одном диапазоне электромагнитных колебаний может позволить открыть новые качества и явления в другом диапазоне.

Устройства СВЧ и КВЧ диапазонов, которыми обобщают структуры с периодическими неоднородностями, широко известны в теории и технике направляющих, передающих и излучающих систем и комплексов. Такие устройства, принцип действия которых основан на резонансном взаимодействии прямых и многократно отраженных от неоднородностей электромагнитных волн, нашли свое применение при создании фильтрующих схем, формирователей и преобразователей радиочастотных сигналов. В качестве направляющей системы используют волноводные структуры, такие как: оптическое волокно, диэлектрический волновод, коаксиальная линия передачи и др. В настоящей работе исследуется возможность реализации подобных систем в диэлектрическом волноводе СВЧ и КВЧ диапазона, изучаются их свойства и особенности [3].

Одним из направлений обмена технологий являются сенсор-

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

ные приложения. Примером может служить волоконно-оптическая решетка Брэгга, широко используемая в измерительной технике, аналогом которой в радиодиапазоне можно назвать диэлектрический цилиндрический волновод с периодическими неоднородностями в продольном сечении.

Ранее были представлены работы по моделированию диэлектрического волновода с внесением в него периодической брэгговской структурой [1], влияния фазовых сдвигов на характеристики диэлектрических волноводов [2], а так же Влияние формы периодических неоднородностей на коэффициент отражения СВЧ диэлектрического волновода.

Продолжением внесения изменений в диэлектрический волновод с периодической структурой стало изменение расположения отверстий в диэлектрическом волноводе. Положения были изменены на 90, 45 и -45 градусов от первоначального положения. Модели и результаты экспериментов представлены на рисунках 1-2.

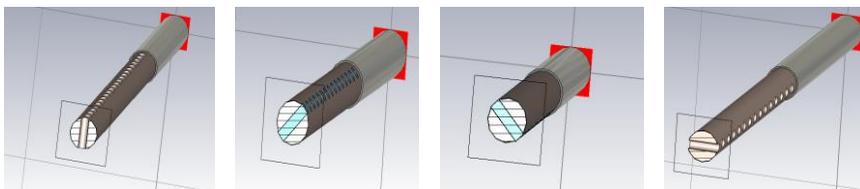


Рис. 1. Модели проведения эксперимента слева на право: а) начальное положение, б) поворот на $+45^\circ$, в) поворот на -45° , г) поворот на 90°

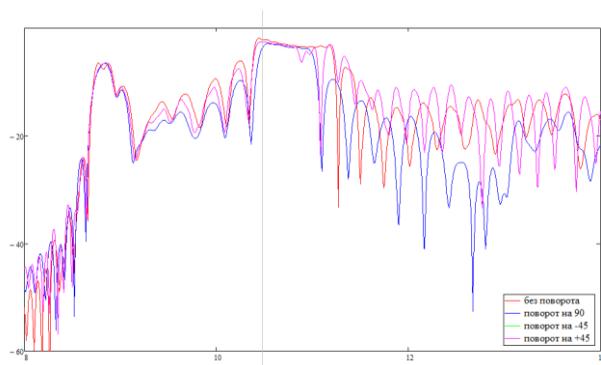


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента отражения от положения неоднородностей

Из результатов моделирования видно, что резонанс при повороте на 90° имеет более прямоугольную форму, чем при других положениях, отличных от начального, но полоса резонанса заметно уменьшилась, а при повороте неоднородностей на $+45^\circ$ у резонанса появился не большой провал. Полученные данные позволяют использовать данную идею для реализации будущих проектов. Кроме этого было рассмотрено распределение электрического поля в таких неоднородностях. Полученные данные представлены на рисунке 3.

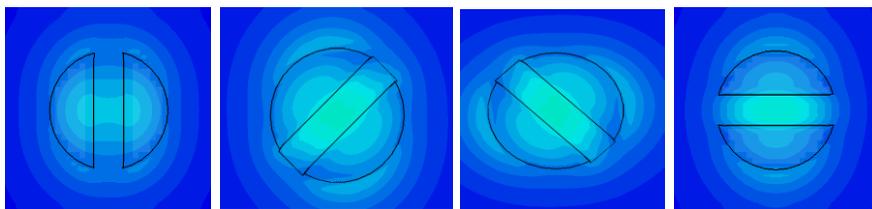


Рис. 3. Распределение полей слева на право: а) начальное положение, б) поворот на $+45^\circ$, в) поворот на -45° , г) поворот на 90°

По полученным данным видно, что поле находится в середине неоднородностей. По распределению поля можно сказать, что наибольшие потери приходится на положение неоднородности в -45° . Как и в предыдущих случаях была построена линейная зависимость изменения полосы пропускания от поляризации волноводного порта (рис. 4).

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ



Рис. 4. Зависимость изменения полосы пропускания резонанса от изменения поляризации волноводного порта

Для достижения наибольшей полосы резонанса, было принято решение реализовать модель с цилиндрическими неоднородностями, расположенными параллельно в два и три ряда. Данные модели и их коэффициенты отражения представлены на рисунках 5-6.

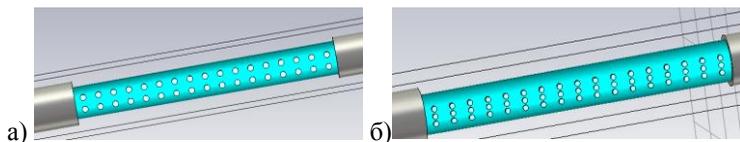


Рис. 5. Модели с усложненной формой периодической структуры

Как видно на рисунке 5 ячейки расположены строго параллельно друг другу, деля диэлектрический волновод ровно пополам, т.е. на середине цилиндрического диэлектрического волновода находятся ячейки периодической структуры. Данные модели работают, как фазовый сдвиг, о котором рассказывалось в [2].

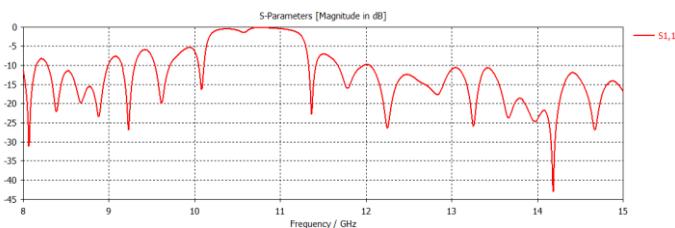


Рис. 2.49. Коэффициент отражения диэлектрического волновода, изображенного на рисунке 2.48 (а)

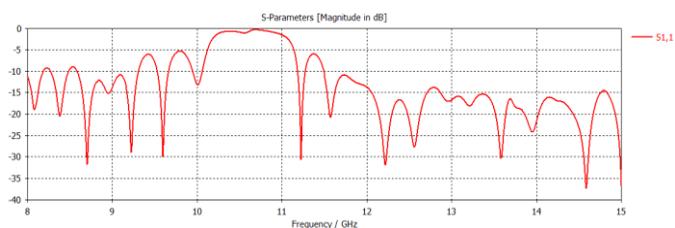


Рис. 2.50. Коэффициент отражения диэлектрического волновода, изображенного на рисунке 2.48 (б)

Полученные данные не удовлетворили поставленных задач. Резонанс не проявил желаемых характеристик, схожих с фазовым сдвигом [2]. Стоит заметить, что данные конфигурации неоднородностей заметно расширяют полосу пропускания резонанса [3].

Выводы: Реализация структуры по характеристикам схожей с фазовым сдвигом не дала положительных результатов. Резонанс расширился по частотной области. Коэффициент прямоугольности остался соразмерным с тем, что был получен при реализации периодической брэгговской структуры в одну линию. Влияние поляризации на характеристику было доказано. В том случае, когда поляризация перпендикулярна ячейке периодической структуры, резонанс проявляется с наибольшей амплитудой. Это связано с тем, что электрическое поле концентрируется полностью в неоднородности.

Список литературы

1. Насыбуллин А.Р., Ишкаев Т.М., Шаронов Д.Е. Периодические неоднородные СВЧ и КВЧ структуры на основе диэлектрического волновода. Форум «Инженерные кадры – будущее инноваци-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

онной экономики России», конференция «Новые технологии инфокоммуникаций, радиотехники и электроники для перспективных отраслей промышленности» 23-28 ноября, республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, 2015.

2. *Насыбуллин А.Р., Ишкаев Т.М., Шаронов Д.Е.* Периодические неоднородные СВЧ и КВЧ структуры на основе диэлектрического волновода. Форум «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России», конференция «Новые технологии инфокоммуникаций, радиотехники и электроники для перспективных отраслей промышленности» 23-28 ноября, республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, 2015

3. *Неганов В.А, Яровой Г.П.* Теория и применение устройств СВЧ.: Учебн. пособие для вузов / Под ред В.А. Неганова – М.: Радио и связь, 2006. – 720 с.

**INFLUENCE OF VARIOUS CONFIGURATIONS OF CELLS
OF A PERIODIC BRAGG STRUCTURE ON THE
CHARACTERISTIC OF A DIELECTRIC SHF WAVEGUIDE**

Nasybullin A., Ishkayev T.

Supervisor: A. Nasybullin, PhD, assoc. professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

This paper examines the influence of various configurations of cells of a periodic Bragg structure on the characteristic of a dielectric cylindrical waveguide. The report presents the results of the research, and models implemented in the program CST Microwave Studio.

УДК 621.372.85

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ ДИЭЛЕКТРИКОВ НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Насыбуллин А.Р., Ишкаев Т.М.

Научный руководитель: А.Р. Насыбуллин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А. Н. Туполева-КАИ, Казань)

В представленном докладе рассматривается экспериментальное исследование влияния различных смол на характеристику диэлектрического волновода. Представлены полученные характеристики, а также модель проведения эксперимента.

Диэлектрические волноводы находят в последние годы все более широкое применение, уже не ограничивающееся областью диэлектрических антенн. Используемые в качестве линий передачи диэлектрические волноводы имеют следующие особенности.

Если размеры сечения волновода примерно равны длине волны или несколько меньше ее, значительная доля энергии, распространяющейся вдоль него волны сосредоточена в диэлектрике, а скорость распространения на (10-30) % меньше скорости света (случай значительного замедления). При этом волновод может подвергаться изгибам с радиусом (10—20) длин волн без появления заметного излучения. Затухание за счет тепловых потерь при использовании высококачественных диэлектриков типа фторопласта, полиэтилена или полистирола ($\epsilon = 2,1 \div 2,6$; $\text{tg}\delta = (2 \div 4) \cdot 10^{-4}$) на длине волны около 1 см оказывается таким же, а на длине волны около 1 мм - в несколько раз меньшим, чем затухание в соответствующих стандартных полых металлических волноводах [1].

В первую очередь было произведено определение диэлектрической проницаемости материала, из которого в будущем планировалось реализовать диэлектрический волновод. Определение проводилось волновым методом при помощи анализатора спектра. Модель проведения измерений представлена на рисунке 1

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

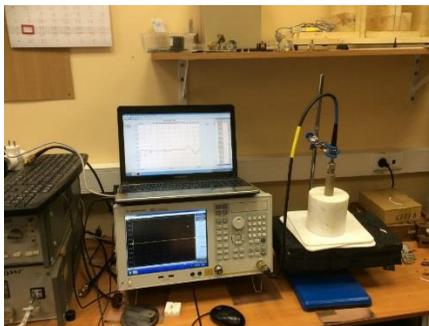


Рис. 1. Стенд по определению диэлектрической проницаемости материала волновым методом

Результаты измерения показали, что диэлектрическая проницаемость полиамида составила $\varepsilon=2.6$, что соответствует теоретическим табличным данным. Для данной частоты $\text{tg}\delta=0,00031$, что на много меньше, чем у тефлона.

После измерения характеристик материала был реализован диэлектрический цилиндрический волновод. Длина диэлектрической части составила $l=300\text{мм}$. Данная длина включала в себя и длину конусных переходов для согласования $l_k=50\text{мм}$. Модель проведения эксперимента представлена на рисунке 2.

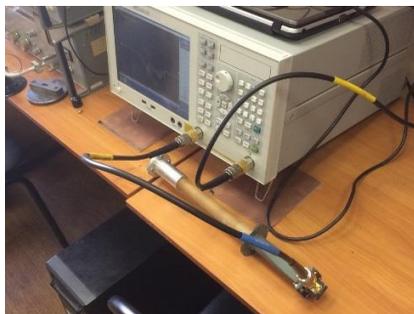


Рис. 2. Стенд проведения эксперимента с изготовленным диэлектрическим волноводом из полиамида

Данная модель показала сравнительно не плохие параметры.

Коэффициент отражения составил -15 дБм, а КСВН составил 1.3. Полученные характеристики представлены на рисунках 3-4.

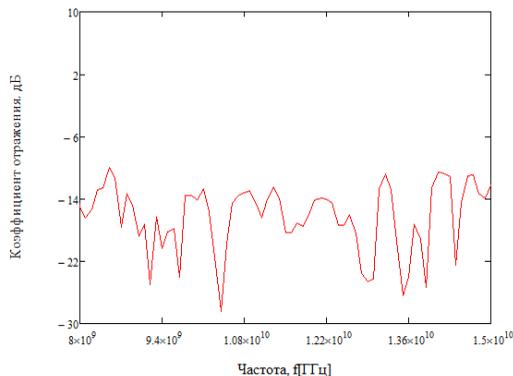


Рис. 3. Коэффициент отражения диэлектрического волновода из полиамида

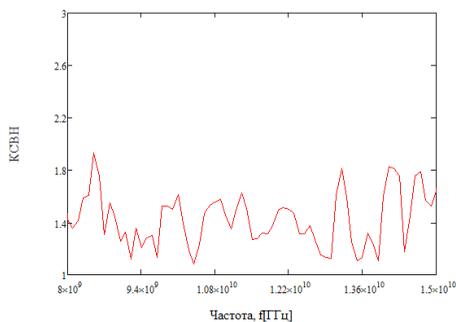


Рис. 4. КСВН диэлектрического волновода из полиамида

После проведения исследования волновода, в него была внесена периодическая структура в виде цилиндрических ячеек диаметрами 5 и 6 мм.

Полученные характеристики и модель проведения эксперимента представлена на рисунках 5-6.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ



Рис. 5. Диэлектрический волновод из полиамида с внесенной брэгговской периодической структурой

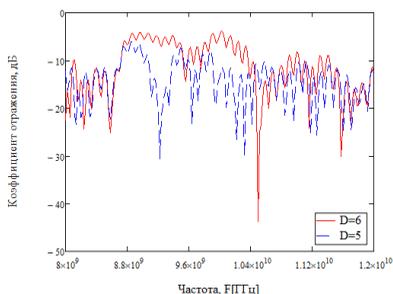


Рис. 6. Коэффициент отражения диэлектрического волновода из полиамида после внесения брэгговской периодической структуры

Как видно из рисунка 6 характеристика реального диэлектрического волновода не похожа на смоделированную копию. Это происходит из-за неточности в реализации диэлектрического волновода, а также влияния внешних факторов.

Далее было реализовано пробное изменение при помощи цилиндрического диэлектрического волновода из полиамида, без согласованной нагрузки. В волновод внесена периодическая брэгговская структура о которой рассказывалось ранее. На волновод помещалась смола, и измерялся коэффициент отражения. Виды смол изображены на рисунке 7, а изменение коэффициента отражения представлен на рисунке 8.

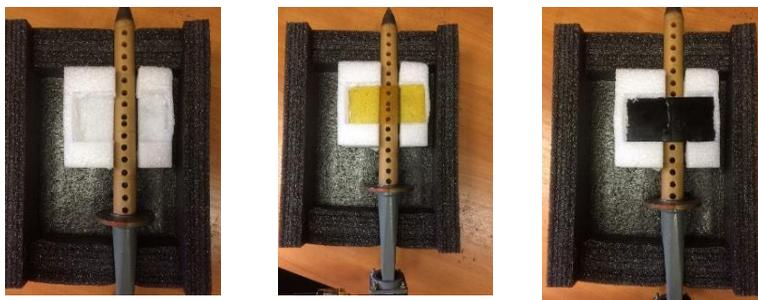


Рис. 7. Модели проведения эксперимента с помещенной смолой в структуру

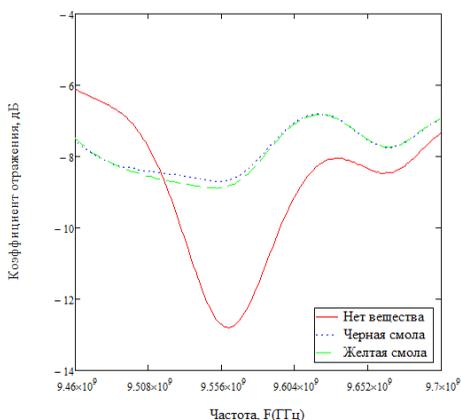


Рис. 8. Зависимость изменения коэффициента отражения от вида смолы

Как видно по рисунку 8 амплитуда коэффициента отражения уменьшается при внесении в структуру смолы. Однако она не заполняет ячейки периодической структуры, а плотно прилегает к волноводу. Так же по графику видно, что центральная частота тоже смещается по полосе частот.

Из полученных данных можно сделать вывод, что цилиндрический диэлектрический волновод СВЧ диапазона с внесенной в него брэгговской периодической структурой может служить чувствительным элементом датчика для измерения неких параметров различных материалов. Особенностью такого чувствительно эле-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

мента является то, что его не нужно погружать в среду, как это делают с чувствительным элементом на основе ВРБ или коаксиального кабеля.

Список литературы

1. *Неганов В.А., Яровой Г.П.* Теория и применение устройств СВЧ: Учебн. пособие для вузов / Под ред В.А. Неганова - М.: Радио и связь, 2006. – 720 с.

2. *Севастьянов А.А.* «Брэгговские СВЧ-структуры в коаксиальном кабеле для систем контроля уровня жидких сред» Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Самара-2014г.

3. *Васильев С.А., Медведков О. И., Королев И.Г., Божков А.С., Курков А.С., Дианов Е.М.* Волоконные решетки показателя преломления и их применения. Квантовая электроника, 2005, т. 35, № 12, 1085–1103.

**EXPERIMENTAL ESTIMATION OF CONTROL
OF THE PROPERTIES OF DIELECTRICS BASED
ON BRAGG DIELECTRIC WAVEGUIDE**

Nasybullin A.R., Ishkayev T., Sharonov D.

Supervisor: A. Nasybullin, PhD, assoc. professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

In the presented report, an experimental study of the effect of various resins on the characteristic of a dielectric waveguide is considered. The obtained characteristics are presented, as well as the model of the experiment.

УДК 621.365.5

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ СИСТЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕД

Нурутдинов Т.Л.

Научный руководитель: Р.Р. Самигуллин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В данной статье приводятся результаты анализа составляющих системы, которые будут оптимальными для решения поставленной задачи, а именно обработки материальной среды с позиции информационного воздействия. Методика исследований заключалась в том, что была проведена выборка активных элементов генераторов, модуляторов, усилителей мощности, циркуляторов и систем обработки, которые в последствие будут удовлетворять оптимальному схемотехническому построению системы.

Цель и задачи исследования. Целью данного эксперимента является разработка системы для СВЧ обработки материальной среды антенной с ближней сфокусированной зоной, а также определение параметров данной среды.

Обзор литературных данных. Воздействие энергии, передаваемой посредством волн СВЧ-диапазона, имеет большую область применения: использование в бытовой жизни (микроволновая печь, Wi-Fi роутер), практическая эксплуатация в медицине (лечение микроволновой терапией) [1] и обработка материальных сред в промышленно-технологических отраслях (транспортировка нефти [2], нагрев композиционных материалов [3]). На фоне задач теплового влияния ЭМП СВЧ, открывается вопрос обработки с позиции информационного воздействия.

Большое количество научно-технической литературы освещает ранее описанные задачи, однако превалирующая часть авторов исследований не затрагивают задачу, основанной на информационной обработке среды.

Следовательно, главной задачей работы является проектирование оптимального варианта построения системы обработки.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

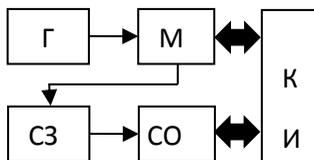


Рис. 1. Структурная схема СВЧ системы:

Г – генератор; М – модулятор; СЗ – система защиты;
СО – система обработки; КИА – контрольно-измерительная аппаратура

Аспектами построения оптимального варианта занимались многие исследователи, однако из подробного анализа их работ, можно сделать вывод, что решаемые задачи определяют выбор оптимальности системы [4]. Определяющими параметрами этой задачи являются: вид модуляции, интенсивность воздействия, равномерное распределение температур, рабочая частота и т.д.

На данном этапе был проведен обзор схемотехнических решений генераторов, модуляторов, систем согласования, защиты и обработки. Было выявлено, что генераторы, выполненные на базе полупроводниковых приборов, в данном контексте использовать целесообразнее. Подходящая модуляция оказалась амплитудная, а изменяемый контролируемый параметр – коэффициент модуляции. Что касается системы обработки, то самой перспективной является ближняя сфокусированная зона антенны, однако закрытый резонатор имеет место для рассмотрения. Также был проведен схемотехнический расчёт составляющих, даны рекомендации для оптимального построения системы.

Список литературы

1. *Директоренко М. А.* СВЧ гипертермия в медицине: реализация и применение / Директоренко М. А., Димитрюк А. А. // Вестник СГТУ. 2011. № 4(59) Выпуск 1. С. 102–106.
2. *Виноградов В.Ю.* Перспективы внедрения экологически безопасного способа эксплуатации сливоналивного устройства / В.Ю. Виноградов, О.Г. Морозов, Э.Р. Галимов, И.А. Абдуллин,

А.А. Заднев // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18. № 14. С. 61–62.

3. Морозов Г.А., Морозов О.Г., Анфиногентов В.И., Веденькин Д.А., Смирнов С.В., Ганиева С.Р. Решение проблемы СВЧ-нагрева композиционных материалов / Морозов Г.А. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики (Самара). 2016. Т. 19. № 3. С. 12–16.

4. Анфиногентов, В.И. Выбор оптимальной структуры построения СВЧ-комплекса обработки терморезистивных композитных материалов / В.И. Анфиногентов, Г.А. Морозов, О.Г. Морозов, А.Р. Насыбуллин, Р.Р. Самигуллин, А.С. Шакиров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Том 14. №1 (2). С. 525–528.

THE ANALYSIS OF VARIANTS OF SYSTEMS OF A MICROWAVE RANGE FOR PROCESSING OF MATERIAL ENVIRONMENTS

Nurutdinov T.

Supervisor: R. Samigullin, candidate of technical sciences, docent
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

This article summarizes the results of the analysis of the components of the system that will be optimal for solving the task, namely the processing of the material medium from the position of informational influence. Research methodology was the fact that there had been a set of active elements of the generators, modulators, power amplifiers, circulation and processing systems which will satisfy the optimum circuit construction of the system.

УДК 621.317.714

УСТРОЙСТВО СИНХРОННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СЛАБЫХ СИГНАЛОВ

Сабиров Т.Н., Смирнов М.А.

Научный руководитель: К.И. Герасимов, канд. физ.-мат. наук,

Основной целью данной работы является создание устройства синхронного детектирования слабых сигналов. Устройство необходимо для проведения исследований примесных центров редкоземельных ионов в диэлектрических кристаллах.

Разработка эффективной многокубитовой квантовой памяти является одной из наиболее важных задач квантовой информатики. На ее основе возможно создание таких устройств, как универсальный квантовый компьютер, квантовый репитер для протяженных квантовых коммуникаций, однофотонный источник с детерминированным временем излучения фотона и других различных устройств квантовой метрологии [1]. Во многих лабораториях, в том числе и в Казанском квантовом центре, ведутся интенсивные исследования по поиску оптимального рабочего вещества (атомарные газы, твердое тело) и по созданию на его основе квантовой памяти.

Перспективными материалами для применения в квантовой памяти являются диэлектрические кристаллы, активированные редкоземельными ионами. Для их исследований требуется создать устройство синхронного детектирования слабых сигналов, которое будет иметь меньшую постоянную времени интегрирования, по сравнению коммерческими вариантами синхронных детекторов.

Структурная схема разрабатываемого синхронного детектора представлена на рисунке 1. За основу в данной работе взяты исследования по созданию секвентного усилителя адаптированного специально для спектроскопических экспериментов [2].

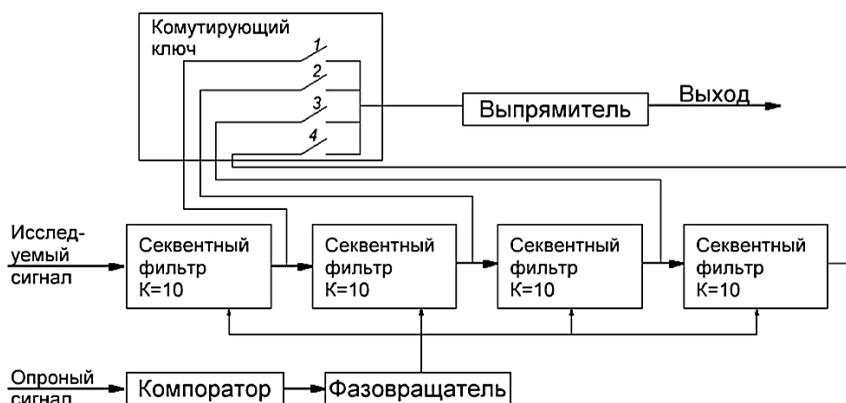


Рис. 1. Структурная схема синхронного детектора

В состав синхронного детектора входит: 4 секвентных фильтра, компаратор, фазовращатель, коммутирующий ключ и выпрямитель. На первый секвентный фильтр поступает исследуемый сигнал, который усиливается в 10 раз, помимо усиления фильтр осуществляет частотную селекцию. Последовательно подключенные фильтры используются для получения сигнала с нужным усилением. Выбор усиления осуществляется с помощью коммутирующего ключа, после чего усиленный сигнал поступает на выпрямитель. Так же в схему на секвентные фильтры поступает опорный сигнал в виде прямоугольных импульсов с возможностью регулирования фазы сигнала. Далее рассмотрим каждый из блоков структурной схемы более подробно.

1. Задачей *секвентного фильтра* является выделение и усиление из сигнала модулированной компоненты, совпадающей по частоте и фазе (синхронизированной) с опорным сигналом. Основным преимуществом является большой динамический диапазон усиливаемого сигнала, не критичность к стабильности периода усиливаемого сигнала, а также высокое отношение сигнал/шум, определяемое главным образом, коммутационными шумами (обусловленными проникновением опорного сигнала через управляемые ключи на выход усилителя), уровень которых зависит от способа реализации электрической схемы устройства.

Электрическая схема *секвентного фильтра* изображена на ри-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

сунке 2. Входное переменное напряжение, через резистор подают на инвертирующий вход операционного усилителя (ОУ). В обратную связь ОУ включен резистор, конденсатор и система из 4 ключей. Управление ключами осуществляется с помощью опорного сигнала, который синхронен с усиливаемым периодическим сигналом так, что в течение полупериода замкнута только одна пара ключей. В результате, в установившемся режиме на выходе усилителя (т.е. на выходе устройства) появляется прямоугольный переменный сигнал, амплитуда которого пропорциональна амплитуде усиливаемого входного сигнала; коэффициент пропорциональности зависит от формы входного периодического сигнала.

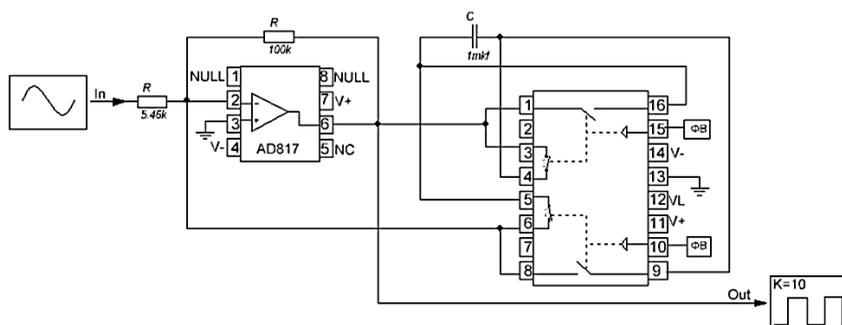


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема секвентного фильтра

2. Для реализации синхронного детектора необходимо, чтобы была возможность изменять фазу опорного сигнала. В случае, когда опорный сигнал представляет собой прямоугольные импульсы, вращение фазы может быть осуществлено путем сдвига во времени прямоугольного сигнала относительно исходного. Была разработана схема *фазовращателя* на базе программируемого таймера $\mu PD71054$ [4]. Принципиальная электронная схема фазовращателя представлена на рисунке 3.

На вход 1 подаётся опорный сигнал с компаратора, который идет к схеме формирователя импульса по фронту сигнала (выделитель фронта). Выделитель фронта представляет собой 2 D-триггера, логический элемент "Исключающее ИЛИ", это две микросхемы K561NV2 и K561ЛП2 соответственно, а также Инвертор (K561ЛН2). На каждый

фронт входного прямоугольного сигнала формируется 2 коротких прямоугольных импульса (длительностью в 1 тактовый сигнал). Далее прямоугольные импульсы поступают на программируемый таймер, который на выходе 3 формирует короткие импульсы, сдвинутые по выбранному времени относительно входных импульсов. Затем сигнал поступает на последний блок электронной схемы – счетчик-делитель на 2 [5]. На данном участке схемы импульсы, поступающие с таймера, преобразуются в сигнал аналогичный исходному, но уже сдвинутый во времени.

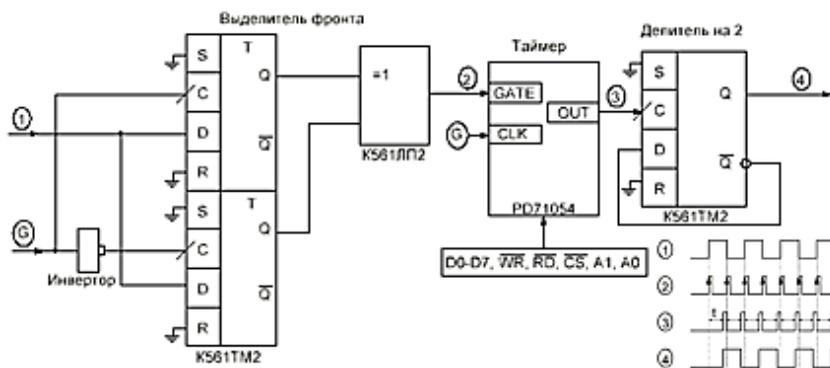


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема фазовращателя

3. *Выпрямитель* — это устройство, предназначенное для преобразования входного электрического тока переменного направления в ток постоянного направления (то есть однонаправленный ток), в частном случае - в постоянный выходной электрический ток.

Принципиальная электрическая схема выпрямителя представлена на рисунке 4, для удобства в схему был включен *коммутрующий ключ*, который позволяет выбирать нужный выход семтального фильтра, и соответственно нужный коэффициент усиления (от 10 до 10^4).

После выбора нужного коэффициента усиления сигнал попадает непосредственно на выпрямитель, состоящий из инвертирующего усилителя, повторителя, 2 пар ключей и 2 RC-цепей. Принцип работы довольно прост. Основной сигнал поступает на повторитель и инвертор, с разницей равной в половину периода. На ключах сигнал считывается

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

поочередно и на выход поступает постоянный сигнал, равный амплитуде исследуемого сигнала.

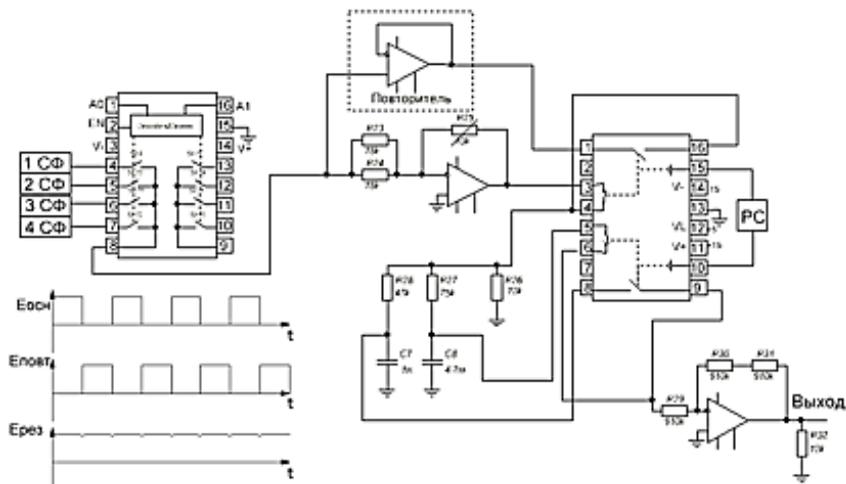


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема выпрямителя и коммутирующего ключа

На данный момент собраны и протестированы все компоненты устройства синхронного детектирования слабых сигналов. В дальнейшем планируется окончательная сборка прибора в едином корпусе и использование его в экспериментах по изучению свойств примесных центров редкоземельных ионов в диэлектрическом кристалле.

Список литературы

1. Heshami, K., England, D. G., Humphreys, P. C., Bustard, P. J., Acosta, V. M., Nunn, J., & Sussman, B. J. (2016). Quantum memories: emerging applications and recent advances. *Journal of Modern Optics*, 63(20), 2005–2028.
2. Казаков Б.Н. Михеев А. Сафиуллин Г.М., Соловаров Н.К. Применение секвентных фильтров в оптической спектроскопии // Оптика и спектроскопия. 1995. Т. 79. № 3. С. 426–437
3. А.В. Степанов. Синхронный детектор. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова 1997г.

4. URL: <https://lib.chipdip.ru/249/DOC000249578.pdf> (дата обращения 13.05.2017)

5. В.Л. Шило, Популярные цифровые микросхемы. Выпуск 1145. Массовая радио библиотека. 2е издание. 1989. С. 74.

DEVICE OF SYNCHRONOUS DETECTING OF WEAK SIGNALS

Sabirov T., Smirnov M.

Supervisor: K. Gerasimov,
candidate of physical and mathematical sciences

Main objective of this work is creation of the device of synchronous detecting of weak signals. The device is necessary for carrying out researches of the impuritiest centers of rare-earth ions in dielectric crystals.

РАЗЪЮСТИРОВКА РЕЗОНАТОРА С ДВУГРАННЫМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ЗЕРКАЛОМ

Сафиуллина Г.А.

Научный руководитель: Л.Г. Кесель, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Проведено исследование угловой разъюстировки резонатора, образованного двугранным цилиндрическим зеркалом и зеркалом, состоящим из двух отражающих полос.

В лазерах с устойчивыми резонаторами для селекции типов колебаний в некоторых случаях используются двугранные зеркала. Важным вопросом практического использования подобных резонаторов является вопрос о потерях, вызываемых разъюстировкой зеркал.

В данной работе проведено исследование угловой разъюстировки резонатора, образованного двугранным цилиндрическим зеркалом и зеркалом, состоящим из двух отражающих полос. Схема представлена на рисунке 1.

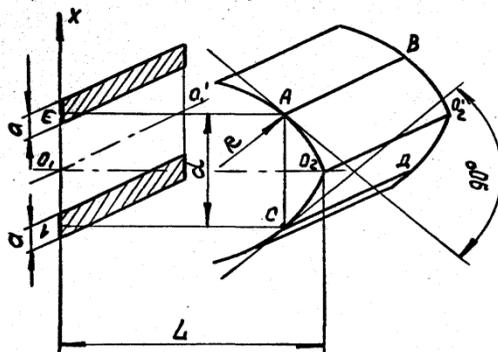


Рис. 1. Схема исследуемого резонатора

Разъюстировка данного резонатора моделировалась поворотом одного отражателя на некоторый угол α относительно его ребра при фиксированном положении другого отражателя (рис. 2, 3).

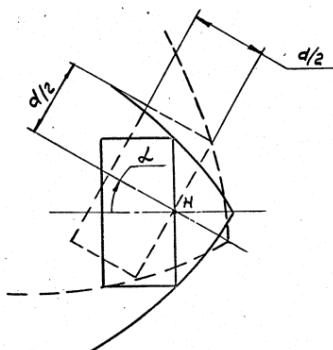


Рис. 2. Поворот отражателя относительно точки Н

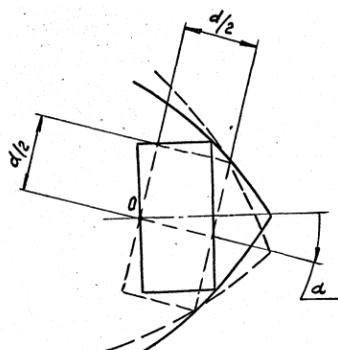


Рис. 3. Поворот отражателя относительно точки О

Задача угловой разъюстировки резонатора была сведена к задаче определения параметров самовоспроизводящегося гауссовского пучка, распространяющегося в резонаторе с наклоненным отражателем. При этом дифракционные потери пучка за один проход интерпретировались как потери основной моды. Решение данной задачи проводилось численным методом.

В процессе решения анализировалось интегральное уравнение, имеющее вид:

$$\gamma U(x_2) = \frac{\exp\left[i\left(\frac{\pi}{4} - kL_0\right)\right]}{\sqrt{\lambda B(\alpha)}} \int_{\frac{d-a}{2}}^{\frac{d+a}{2}} U(x_1) \exp\left\{\frac{i\pi}{\lambda B(\alpha)} [A(\alpha)x_1^2 + D(\alpha)x_2^2 - 2x_1x_2]\right\} dx_1, \quad (1)$$

где L_0 – оптическая длина системы, λ – длина волны, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $A(\alpha)$, $B(\alpha)$, $C(\alpha)$, $D(\alpha)$ – элементы матрицы, α – угол поворота отражателя.

Для составления интегрального уравнения резонатор был заменен на эквивалентную оптическую линию передачи, в которой связь между полем на входе и выходе записывалась через элементы лучевой матрицы $ABCD$ [1].

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

Особенностью подхода является то, что применительно к данному случаю элементы лучевой матрицы рассчитывались с учетом угловой разбюстировки одного из зеркал, т.е. являлись функциями угла поворота α . В связи с этим смещение оптической оси и коэффициенты $ABCD$ определялись при конкретных углах поворота отражателей из оптико-геометрического анализа хода лучей, распространяющихся в наклонном отражателе.

Уравнение (1) решалось итерационным методом, в результате чего были получены амплитудно-фазовые распределения для низшего типа колебаний и определена зависимость дифракционных потерь от углов поворота двугранного отражателя. Расчеты производились при числе Френеля $N=0.45$. Стационарное решение достигалось, как правило, после 100-150 проходов в зависимости от величины потерь. Зависимость дифракционных потерь D от угла поворота отражателя α представлена на рисунке 4.

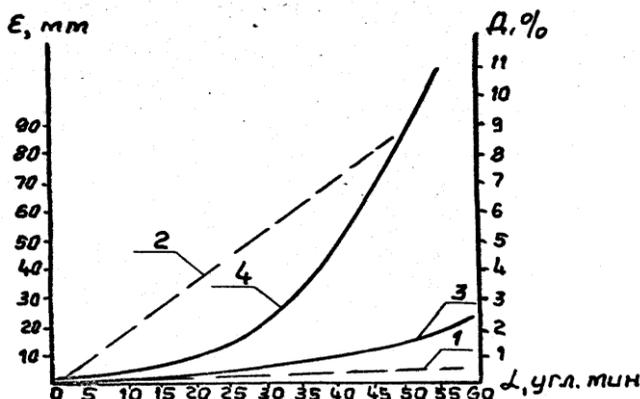


Рис. 4. Зависимость дифракционных потерь D от угла поворота отражателя α

Кривая 3 соответствует повороту отражателя относительно точки H , а кривая 4 — повороту отражателя относительно точки O . Анализ полученных данных показывает, что минимальные значения величины дифракционных потерь соответствуют повороту двугранного отражателя относительно точки H . При этом поворот

относительно точки O приводит к потерям, величина которых на порядок выше. Изменение амплитудного распределения при повороте двугранного отражателя относительно точки H представлено на рисунке 5.

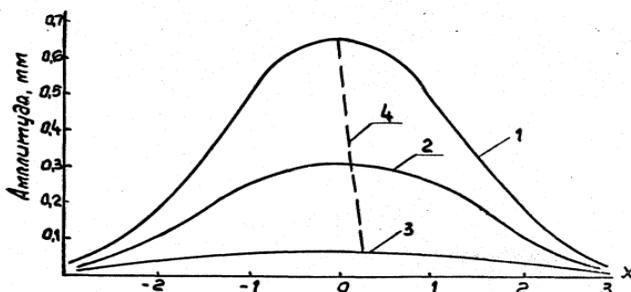


Рис. 5. Распределение амплитуды на плоском зеркале при 1 – $\alpha=0$; 2 – $\alpha=45^\circ$; 3 – $\alpha=60^\circ$; 4 – смещение центра распределения при разьюстировке

Обобщая полученные результаты можно сделать следующие выводы:

- дифракционные потери основного типа колебаний резонатора с двугранным цилиндрическим зеркалом не превышают величины тех же потерь в резонаторе с обычным цилиндрическим зеркалом;
- данный резонатор имеет пониженную чувствительность к угловой разьюстировке.

Список литературы

1. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. – М.: Наука, 1979. – 328 с.

THE MISALIGNMENT OF A RESONATOR WITH A CYLINDRICAL MIRROR DIHEDRAL

Safiullina G.

Supervisor: L. Kesel, Ph. D., Associate Professor

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*

The study of the angular misalignment of the resonator formed by the dihedral mirror and the cylindrical mirror consisting of two reflective stripes.

УДК 624.365.5

ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВТОРИЧНОГО СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Смирнов С.В.

Научный руководитель: Г.А. Морозов, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет имени А. Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В данной статье рассматривается возможность нагрева диэлектрических материалов в мuffleной СВЧ печи вторичным энергетическим тепловым полем.

Введение

Использование электромагнитного поля сверхвысоких частот при обработке диэлектрических материалов развивается с начала восьмидесятых годов прошлого века. Известно, что это позволяет реализовать интенсивные, безотходные, энергосберегающие и экологически чистые технологии.

Анализ научных публикаций, отечественных и зарубежных изданий показывает, что большое внимание уделяется поиску принципиально новых технологических решений и развитию исследований в области сверхвысокочастотной технологической обработки. Результатом может быть: замещение существующих технологий обработки, создание новых видов материалов.

Актуальными считаются устройства, в которых в качестве источника тепловой энергии используются вторичные тепловые потоки.

Методы и средства

Методы и средства исследований базируются на основе созданий физических процессов формирования тепловых воздействий на композитные материалы (КМ) и стекольные изделия.

В качестве методов используются: методики и средства СВЧ нагрева различных диэлектрических материалов, измерение ди-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

электрических, тепловых и внешних параметров веществ и предметов. Способы контроля частотных свойств генераторов СВЧ, диэлектрической проницаемости, параметров твердости твердых и жидких диэлектриков. Измерения коэффициентов передачи и отражения были проведены с помощью анализатора спектра ROUNDE&SCHWARZFSH8, который является широкополосным. Диапазон измерения 100кГц-8ГГц, коаксиально-волноводный переход размером 10х6 см.

Основная часть

В ходе экспериментальных исследований была подтверждена возможность управления формой стекла, за счет вторичного СВЧ нагрева. Оптимальный диапазон температур, для придания необходимой формы стеклу, лежит в пределах от 710°C до 780°C, при этом сохраняется эффективность работы с заготовкой как в одной, так и в другой крайних точках. Время нагрева незагруженного муфеля от комнатной температуры до 1000°C составляет не более 1 часа. Для плавного охлаждения стекла, без потрескиваний, нужно исключить прямой контакт стекла и формы.

Таблица 1

Коэффициенты передачи (S_{12}) и отражения (S_{11})

	Опыты	№1	№2	№3	№4	№5
F=2.2 ГГц	S_{12} , разы	0,112	0,1	0,104	0,1	0,1
	S_{11} , разы	0,25	0,25	0,199	0,25	0,223
F=2.45ГГц	S_{12} , разы	0,207	0,205	0,204	0,204	0,206
	S_{11} , разы	0,011	0,013	0,013	0,009	0,042
F=2.8 ГГц	S_{12} , разы	0,158	0,141	0,125	0,112	0,112
	S_{11} , разы	0,177	0,125	0,128	0,107	0,158

Экспериментальные исследования коэффициента передачи и отражения (обработанного материала) проведены на трех разных частотах (2.2, 2.45, 2.8 ГГц). В таблице 1 представлены результаты измерений коэффициентов передачи и отражения в разях, во всех проведенных опытах.

Анализ результатов показывает, что коэффициент передачи и коэффициент отражения при изменении частоты отличаются не

значительно. Это показывает, что измерения можно производить на любой из частот, доступных источнику ЭМП. [1,2]

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках проектной части Государственного задания №8.6872.2017/БЧ

Список литературы

1. Морозов Г.А., Морозов О.Г., Насыбуллин А.Р., Самигуллин Р.Р., Шакиров А.С. формирование изделий из радиопрозрачных материалов с использованием СВЧ-излучения Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1-2. С. 573–576.

2. Г.А. Морозов, Р.Р. Самигуллин, Д.А. Веденькин, С.В. Смирнов, И.Р. Ахтемзянов. Управления формой поверхности кремний органических полимеров при СВЧ воздействии. // Материалы XIII Международной научно-технической конференции: Физика и технические приложения волновых процессов. 2016г.

THE SECONDARY EFFECTS OF MICROWAVE HEATING ON THE STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF ORGANOSILICON COMPOUNDS

Smirnov S.

Supervisor: G. Morozov, doctor of technical sciences, professor
(Kazan National Research Technical
University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan)

This article discusses the possibility of heating dielectric materials in a microwave muffle furnace thermal field of secondary energy.

УДК 531.7

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ ОТ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ
ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ**

Степанов Э.Э., Нуреев И.И.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

С развитием техники и технологий волоконно-оптические датчики (ВОД) становятся одним из самых перспективных инструментов, которые можно внедрить практически во все сферы деятельности.

В качестве одной из конкурентоспособных и надежных технологий построения волоконно-оптических датчиков выступают технологии, использующие волоконные брэгговские решетки (ВБР).

Главным фактором, препятствующим развитию и повсеместному внедрению датчиков и систем, основанных на волоконно-оптических технологиях, является высокая цена таких решений.

Одна из задач, которую требуется рассмотреть, является разработка электронного блока обработки информации от волоконно-оптических датчиков вибрации. При этом необходимо добиться конкурентоспособной стоимости, которая позволит привлечь внимание на такие системы более широкой аудитории. Такую высокую цену интеррогаторов можно значительно снизить, если перенести измерительный ИК диапазон 1550 нм в диапазон 800-900 нм, который является пограничным между видимым диапазоном и диапазоном ближнего ИК. В этом случае выигрыш в цене обеспечивается за счет использования дешевых ПЗС-линеек видимого диапазона с высоким разрешением, измерительная характеристика которых распространяется вплоть до значений 1100 нм. В данной работе будет рассмотрен диапазон 830-870 нм, что является оптимальным вариантом для производства датчиков, конкурентоспособных в ценовом сегменте. Такие системы будут использовать аналогичные

устройства: лазерный суперлюминесцентный диод, изолятор, циркулятор. Все они широко освоены промышленностью и по стоимости немногим выше аналогичных устройств диапазона 1550 нм. Ограничение при рассмотрении взятого нами диапазона длин волн вносит оптоволоконно с ВРБ. Структурная схема блока обработки представлена на рисунке 1.

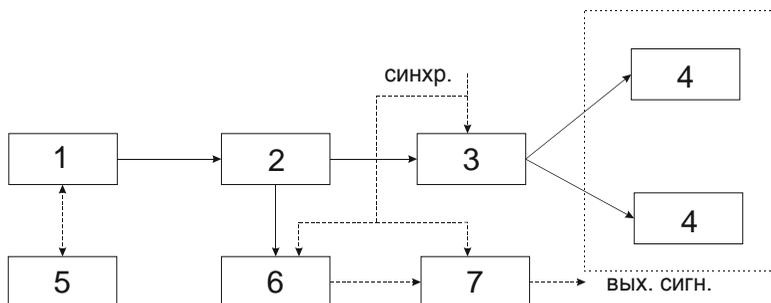


Рис. 1. Структурная схема опико-электронного блока обработки (1 – лазерный диод, 2 – циркулятор (оптический), 3 – коммутатор (оптический), 4 – волоконно-оптические датчики вибрации (согласно заданию), 5 – контроллер лазерного диода, 6 – интеррогатор (оптический), 7 – АЦП). Пунктирные линии - электрические сигнал, сплошные – оптические

Так же, для упрощения конструкции, было принято решение заменить классическое решение оптической схемы, основанное на зеркальных объективах, линзовыми. Подобное решение позволяет нам упростить устройство готового блока и снизить его стоимость.

Список литературы

1. *Нуреев, И.И.* Радиофотонные методы и средства интеррогации комплексированных волоконно-оптических датчиков // *Материалы Международной научно-технической конференции «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2016».* – Казань: ООО «16ПРИНТ». – 2016. – С. 28–30.

2. *Морозов, О.Г.* Маломодовое зондирование датчиков на основе волоконных решеток Брэгга / В.Г. Куприянов, О.Г. Морозов,

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

И.И. Нуреев и др. // Казань: Научно технический вестник Поволжья. – 2013. – № 4. – С. 200–204

3. *Нуреев, И.И.* Моделирование спектральных характеристик волоконных брэгговских решеток с фазовым сдвигом для решения задач оптомеханики изгибных датчиков // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики. Материалы 6-ой научно-практической Internet-конференции. –Тольятти. – С. 265–270

4. *Нуреев И.И.* Исследование виброакустических колебаний на основе брегговской структуры/И.И. Нуреев, Ф.Ф. Абдулин, Л.М. Фасхутдинов и др.//Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. 2015 – Казань: ООО «Новое знание». – с. 148–150.

**FIBER-OPTICAL ELECTRONIC INFORMATION
PROCESSING UNIT FROM THE DEVELOPMENT
OF VIBRATION SENSORS**

Stepanov E., Nureev I.

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev—KAI, Kazan)*

УДК 621.365.5

ЭФФЕКТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КВЧ-ДИАПАЗОНА НА ДРОЖЖИ ХЛЕБОПЕКАРНЫЕ

Тимаков Н.П., Кокурин О.Е

Научный руководитель: Г.А. Морозов, докт. техн. наук, профессор
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В представленной статье рассматривается воздействие ЭМП КВЧ-диапазона на хлебопекарные дрожжи. Сравняется воздействие двух генераторов с разными длинами волн.

Актуальность тематики проведённых исследований.

Процесс развития жизни на Земле был неразрывно связан с определенными внешними воздействиями, к которым, в частности, относятся слабые магнитные поля, в том числе являющиеся составляющими электромагнитного поля Земли. В процессе эволюции биологические объекты выработали определенные механизмы, позволяющие им существовать в условиях внешних магнитных полей.

В настоящее время наиболее интенсивно развивающейся ветвью биотехнологии является пищевая микробиотехнология. В области производства пищевых продуктов ведущая роль принадлежит дрожжам. Разные расы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* используются в хлебопечении, бродильных производствах, молочной промышленности. В связи с этим вопросы интенсификации микробиологических процессов с их участием имеют большое значение.

Материалы и методы.

В качестве объекта исследования использовали дрожжи хлебопекарные растворенные в воде (10 грамм дрожжей растворяли в 80 мл воды). Для обработки дрожжей хлебопекарных использовали генераторы ЭМП КВЧ-диапазона «Явь-1–5,6» и «Явь-1–7,1» в течении 50 минут. Расстояние от рупора излучателя до объекта составляло 10 см. Обработке подверглись по 30 мл дрожжей для каж-

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

дой из выбранных частот с контролем температуры в пределах 32-38°C.

Задачей проведённого исследования лабораторных испытаний жизнедеятельности дрожжей хлебопекарных, являлось определение возможность стимулирования роста микроорганизмов и синтеза продуктов метаболизма при воздействии электромагнитного облучения крайне высоких частот (ЭМИ КВЧ).

Обработке подвергали дрожжи хлебопекарные растворенные в воде (10 грамм дрожжей растворяли в 80 миллилитров воды). Создана питательная среда для дрожжей путем растворения сахара в воде (6 грамм сахара на 80 миллилитров воды). В процессе обработки через 10, 20, 30, 40 и 50 минут от общей массы отбирались пробы по 0,2 мл в отдельные пробирки, предварительно добавив в каждую пробирку по 1 мл 0,1 % раствора щелочи.

Глюкоза в щелочной среде с гидроксидом меди образуют комплексное соединение фиолетового цвета, растворимое в воде. Для определения концентрации глюкозы использовалась реакция комплексного образования оксида меди. Глюкоза проявляет свойства многоатомных спиртов и альдегидов. Так как молекулы глюкозы содержит и гидроксильные и альдегидные группы. Реакция комплексообразования с гидроксидом меди (II). При взаимодействии свежесажженного гидроксида меди (II) с моносахаридами происходит растворение гидроксида с образованием комплекса синего цвета.

Для проведения реакции необходимо: 1 мл исследуемого раствора помещают в мерную пробирку, добавляют 1,5 мл раствора гидроксида меди и 2 мл 10 % раствора гидроксида натрия и доводят данный раствор дистиллированной водой до 4 мл. Далее помещаем полученный раствор в центрифугу, и центрифугуем в течении 2-х минут.

Результаты

Полученные результаты проб, относительно контрольной группы

Таблица 1

**Сравнение контрольной группы с обработанной
ЭМП КВЧ длинами волн 7.1мм и 5.6мм**

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
 «XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ)»

Время облучения T, сек.	Контроль		Обработка 7.1мм		Обработка 5.6мм	
	Оптическая плотность D	Коэффициент пропускания t, %	Оптическая плотность D	Коэффициент пропускания t, %	Оптическая плотность D	Коэффициент пропускания t, %
0	0.36	45	0.36	45	0.36	45
10	0.276	51	0.195	65.5	0.21	64
20	0.259	53	0.175	67.9	0.19	66
30	0.236	55	0.175	68	0.18	67
40	0.237	55.5	0.135	74	0.14	71
50	0.2	57	0.0625	87	0.05	85

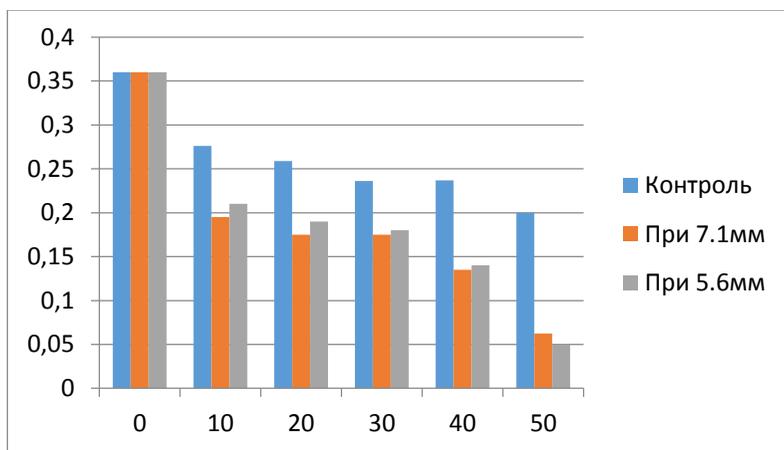


Таблица 2. Оптическая плотность контрольной и обработанных групп

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

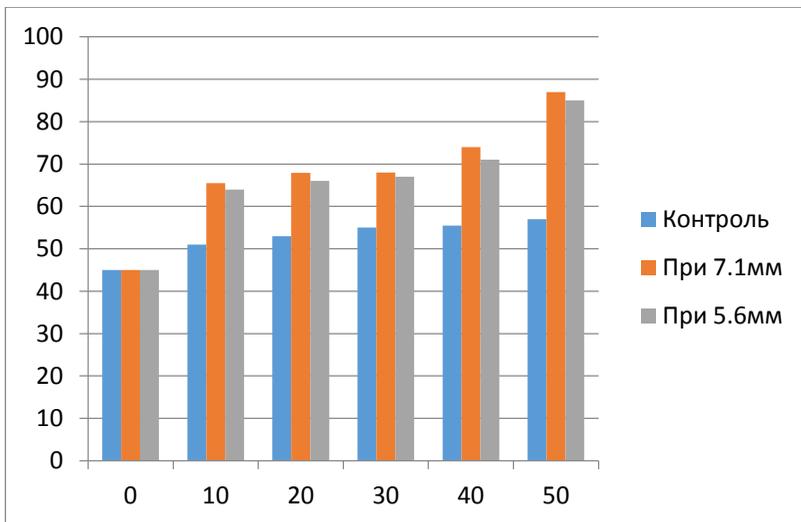


Таблица 3. Коэффициент пропускания
контрольной и обработанных групп

Выводы

Исследуя полученные результаты при обработки дрожжей хлебопекарных генераторами ЭМП КВЧ-диапазона типа «Явь-1–5,6» и «Явь-1–7,1» можно сделать следующие выводы:

1. С увеличением длительности обработки, наблюдается повышение коэффициента пропускания, что свидетельствует о том, что в исследуемом растворе после обработки остается малое количество глюкозы.

2. При КВЧ-обработки культуры дрожжевых микроорганизмов длиной волны 5,6мм наблюдается больший стимулирующий эффект нежели при КВЧ-обработки данной культуры ЭМП длиной 7,1 мм.

Список литературы

1. *Бецкий, О.В.* Миллиметровые волны и живые системы / О.В. Бецкий, В.В. Кислов, Н.Н. Лебедева – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004. – 272 с.

2. Крыницкая, А.Ю. Способ воздействия на рост и физиологическую активность хлебопекарных дрожжей / А.Ю. Крыницкая, М.Н. Астраханцева, В.С. Гамаюрова // Известия ВУЗОВ. Пищевая технология. – 2006. – № 1. – С. 15-16.

3. Морозов, Г.А., Седельников, Ю.Е. Низкоинтенсивные СВЧ-технологии (проблемы реализации) // «Радиотехника». 2003. С. 31–35.

THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC FIELDS EHF-RANGE ON YEAST BAKING

Timakov N., Kokurin O.

Scientific adviser: G. Morozov, Doctor of Technical Sciences Professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

In the presented article the influence of EMF EHF-range on baking yeast is considered. The effect of two generators with different wavelengths is compared.

УДК 621.396.2

ОЦЕНКА КРИТЕРИИ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ АЛГОРИТМА ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВБР

Файзуллин Р.И., Малых Д.В.

Научный руководитель: П.Е. Денисенко, канд. техн. наук, доцент
*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

В работе представлены сформированные требования к разработке универсального алгоритма обработки оптического двухчастотного сигнала, описан алгоритм, а так же выработаны критерии универсальности способа обработки данных.

Описание спектральных характеристик ВБР возможно по двум параметрам: центральная длина волны – характерно для ВБР при отсутствии возмущения, и рабочая длина волны – при изменении периода структуры, определяемой внешним возмущением [1].

Основной задачей мониторинга ВБР является определение сдвига спектральных характеристик по длине волны. Данная задача широко решается с применением анализаторов спектра.

Локализуя задачу разработки алгоритма, отметим два возможных вида преобразования функции отклика ВБР с учетом двухчастотного метода зондирования по определению разности амплитуд/ фазы огибающей биений сигнала:

1. разность амплитуд/фаз огибающей биений – центральная длина волны профиля ВБР

2. разность амплитуд/фаз огибающей биений – температура

В большинстве случаев второй метод преобразования с применением анализаторов спектра нецелесообразно.

Учитывая метрологические требования, возникает вопрос о деградации спектральных характеристик ВБР в процессе эксплуатации, таких как старение, механические воздействия и т.д. Немаловажным считается контроль истинности частоты излучения зондирующего сигнала. Уход центральной длины волны передающего

оптического модуля способствует некорректному сбору информации о спектральных характеристиках ВБР [2].

Реализации возможности комплексного измерения по температуре и расстройке ВБР, а также применимость способа для различных ВБР будет определять его универсальность [3].

Элементная база, заключенная в корпус типа DIP-14 передающего оптического модуля содержит терморезистор контроля температуры, по напряжению которого определяется стабильность работы частоты излучения лазерного диода.

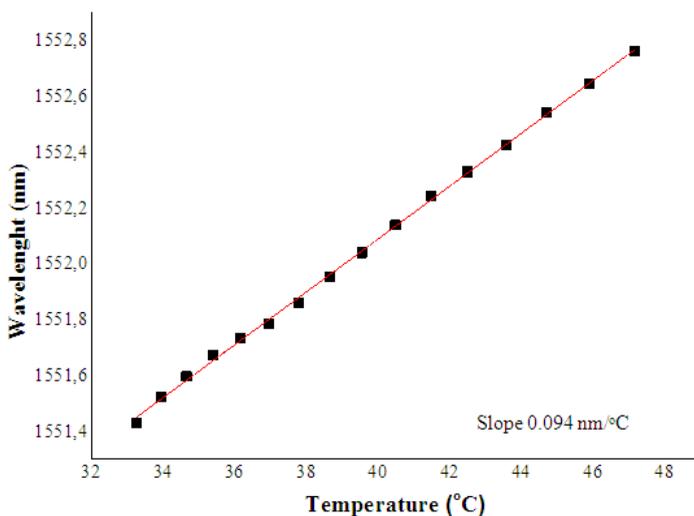


Рис. 2.4. Зависимость частоты излучения передающего оптического модуля от температуры работы

Для описания алгоритма возьмем пример линейного профиля контура невозмущенной ВБР, которая зондируется двухчастотным излучением.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

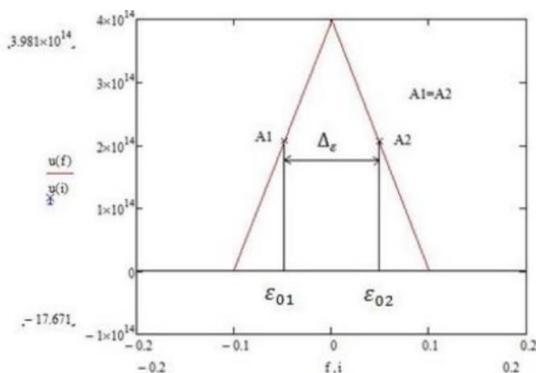


Рис. 2. АЧХ симметричного контура ВБР

Согласно графика изображенной на рисунке 2.5 амплитуды двухчастотного зондирующего сигнала равны и центральная длина волны профиля ВБР находится в состоянии покоя. При этом коэффициент амплитудной модуляции огибающей биений двух частотных составляющих равен 1. В случае сдвига спектральной характеристики ВБР коэффициент модуляции меньше единицы и зависит от степени возмущения.

Как было сказано выше, необходимо реализовать преобразование типа разность амплитуд/биений огибающих – температура $f(t)$ – центральная длина волны $f(\lambda)$.

Рассмотрим алгоритм расчета $f(\lambda)$ по показаниям измеряемой величины. Разность амплитуд двухчастотного сигнала для спектральной характеристики ВБР известна и описывается функцией $f(\lambda)$, зависящей от длины волны λ . Центральная длина волны на пике спектральной характеристики определяет отсутствие разности амплитуд отраженного сигнала $A_1 = A_2 = f(\lambda_B)$. Для невозмущенного состояния ВБР нам известны величины амплитуд зондирующего сигнала для первой составляющей

$$A_1 = f(\lambda_B - \lambda\Delta) \text{ и второй составляющей } A_2 = f(\lambda_B + \lambda\Delta)$$

В случае воздействия возмущения на ВРБ, значения амплитуд отраженных сигналов будет отлична от исходного варианта: для первой составляющей $A'_1 = f(\lambda_B - \lambda\Delta)$ и второй составляющей

$A'_2 = f(\lambda_B + \lambda\Delta)$ соответственно. При этом значения амплитуд будут отличаться.

Профиль остается неизменным и испытывает только смещение вдоль волокна.

Учитывая возможный уход частоты излучения передающего оптического модуля, корректировка измеренных значений будет производиться по формулам:

$$A'_1 = f((\lambda_{\text{ВБР}} - \lambda\Delta)\lambda_{\text{ПОМ}}), \quad A'_2 = f((\lambda_{\text{ВБР}} + \lambda\Delta)\lambda_{\text{ПОМ}}) \quad (2.5)$$

Произведение функции A'_1, A'_2 учитывает истинность длины волны излучения зондирующего сигнала, и при стабильной работе ПОМ коэффициент $\lambda_{\text{ПОМ}} = 1$. Данное значение рассчитывается исходя из температурной зависимости (см. рис. 2.4) рабочей среды лазерного диода.

Коэффициенты приравниваются к значениям напряжений с терморезистора. Для стабилизированного лазерного излучения, напряжение на терморезисторе равно 3 В., при этом коэффициент ухода длины волны равно 1. В этом случае отсутствует корректировка показаний измеренных амплитуд сигналов и данные поступают на дальнейшую обработку.

По измеренным значениям амплитуд рассчитываем коэффициент модуляции, которая определяет степень возмущения ВБР. По соотношениям амплитуд получаем направление возмущения, увеличение или уменьшение воздействия на ВБР. Типовое значение смещения длины волны ВБР от температуры ~ 0.01 нм/°С [17] При использовании ВБР с шириной 0.1-0.3 нм, разностная частота между компонентами зондирующего излучения с учетом полуширины склонов ВБР составляет ~ 10 -30 ГГц.

Эквивалентная величина коэффициенту амплитудной модуляции, разность фаз равна 0 для невозмущенной ВБР и изменялась до $\pm\pi$ при изменении коэффициента амплитудной модуляции от 1 до 0.4.

Список литературы

1. *Нуреев И.И.* Радиофотонные амплитудно-фазовые методы интеррогации комплексированных датчиков на основе волоконных

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

решеток Брэгга [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 2.

2. *Морозов О.Г.* Амплитудно-фазовое преобразование частоты в системах временной и частотной рефлектометрии волоконно-оптических информационных и измерительных сетей // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2004. – Т. 7, № 1. – С. 63–67.

3. *Sarmany J.* Microwave photonic signal processing // Journal of Lightwave Technologies. 2013. Vol. 31, № 4. P. 571–586.

УДК 537.87(075.3)

ПРИМЕНЕНИЕ КОАКСИАЛЬНОГО ТРОЙНИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ

Хабибуллин Р.Р.

Научный руководитель: Д.А. Веденькин, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Использование резонансного метода оценки параметров материалов на низких частотах на основе коаксиального тройника. Рассмотрена модель коаксиального тройника в задачах оценки электрофизических параметров материалов.

Для оценки параметров на низких частотах (ниже 1ГГц) невозможно использовать волноводный СВЧ тройник, описанный в работе [1], однако можно использовать тот же метод, который был описан в работе [2], применимо к коаксиальной линии.

В данной работе рассматривается коаксиальный тройник, предназначенный для проведения измерений по оценке параметров различных материалов на низких частотах.

Цель работы состоит в улучшении методов оценки параметров материалов для более быстрого и легкого получения информации о материале, параметры которого могут быть критическими при проектировании во многих приложениях радиотехники.

Задачами данной работы являются:

1. Расчет параметров коаксиального тройника.
2. Математическое моделирование системы.

Расчет параметров коаксиального тройника

Для коаксиальной линии с параметрами:

$$Z_{\text{в}} = 50 \text{ Ом}, F_{\text{рез}} = 0.2 \text{ ГГц}, \varepsilon = 2.1;$$

расчет высоты четвертьволнового шлейфа будет иметь вид:

$$\lambda_0 = \frac{c}{F_{\text{рез}}} = \frac{3 * 10^8}{0.2 * 10^9} = 1.5 \text{ м}$$

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\varepsilon}} = \frac{1.5}{\sqrt{2.1}} = 1 \text{ м}$$
$$\frac{\lambda_{\text{в}}}{4} = 0.25 \text{ м}$$

Расчетная высота четвертьволнового шлейфа тройника 250мм.

Математическая модель системы

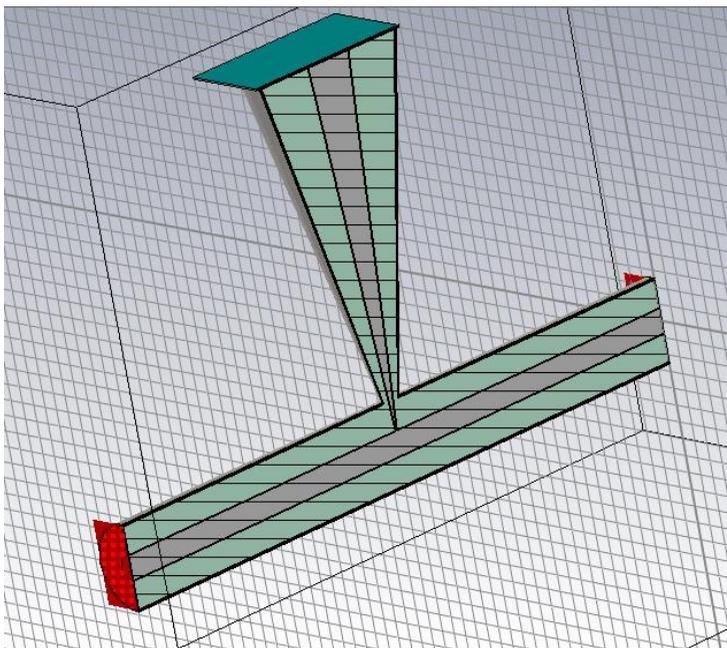


Рис. 1. на рисунке изображен коаксиальный – тройник с резонансной частотой 0.2 ГГц (в разрезе)

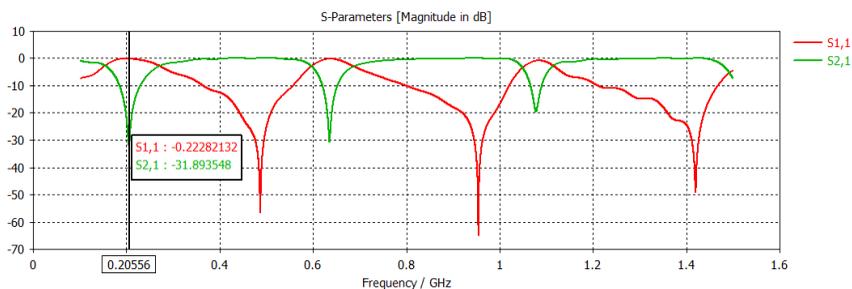


Рис. 2. График S – параметров для частоты 0.2 ГГц

Анализ полученных результатов.

Данные расчета металлов удельной проводимостью от $5 * 10^2$ до $5 * 10^8$ и толщиной $k=1$ на резонансной частоте 0.2 ГГц приведены в таблице 2.1. Данные таблицы были взяты из графиков S – параметров.

Таблица 1

Результаты измерений на частоте 0.2 ГГц

Удельная проводимость, См/м	$S_{2,1}$, дБ	F, МГц
	$k=1$	$k=1$
$5 * 10^8$	-65,7637	43,208
Медь $5.96 * 10^7$	-65.1242	43,208
Алюминий $3.56 * 10^7$	-64.8491	43,208
Хром $8 * 10^6$	-63.583	43,208
$5 * 10^5$	-59.665	43,205
$5 * 10^4$	-53.0625	43,197
$5 * 10^3$	-44.552	43,177
$5 * 10^2$	-35.1737	43,113

Анализ полученных данных

По данным расчета был построен график зависимости коэффициента S_{21} от удельной проводимости материалов, представленный на рисунке 3.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

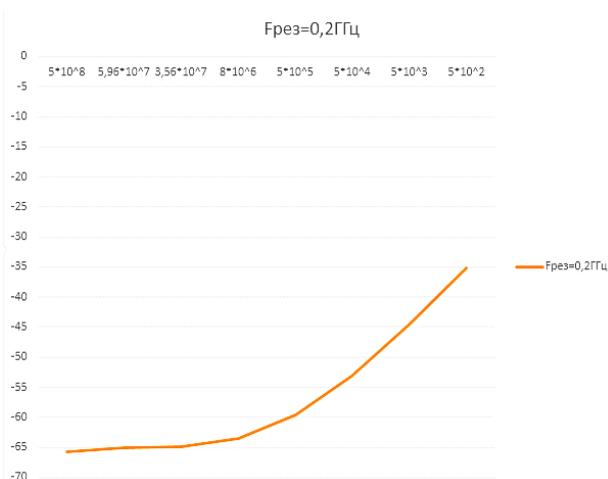


Рис. 3. График зависимости коэффициента S21 от удельной проводимости материалов

По результатам измерений видно, что при уменьшении удельной проводимости металлов коэффициент передачи увеличивается.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части Государственного Задания №8.6872.2017/БЧ.

Список литературы

1. Ведыкин Д.А. Применение волноводного СВЧ тройника для оценки параметров материалов / Хабибуллин Р.Р. // «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2017», 2017. С. 179–184
2. Ведыкин Д.А. Оценка параметров материалов резонансным методом / Насыбуллин А.Р., Хабибуллин Р.Р. // «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы – 2016», 2016. С. 149–151

3. Тишер, Ф. Техника измерений на сверхвысоких частотах / Ф. Тишер Справочное руководство. Государственное издательство физико-математической литературы. Москва. – 1963. – С. 266–286.

4. Терешенко, А.И. Измерение диэлектрической проницаемости на сверхвысоких частотах с помощью волнового дискриминатора. / А.И. Терешенко Сб. трудов НТОРиЭ им. А.С. Попова. Связьиздат. – 1958.

5. Dakin, T.W. and Works, C.N. Microwave dielectric measurements / T.W. Dakin and C.N. Works// J. appl. Phys. – Sept. 1947. – P. 789–796.

6. Ткач, В.К. Резонансный метод измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь жидких диэлектриков / В.К Ткач, Л.Д. Степин, В.Б. Казанский. Радиотехника и электроника V. – № 12. 1960.

7. Курушин А.А. Школа проектирования СВЧ устройств в CST STUDIO SUITE. / А.А Курушин – М., «One-Book». – 2014. – С. 433.

USING COAXIAL TEE FOR ESTIMATING THE PARAMETERS OF MATERIALS

Khabibullin R.

Supervisor: D. Vedenkin, PhD, Associate professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Use of resonance method for estimating parameters of materials at low frequencies based on coaxial tee. The model of a coaxial tee in problems of estimation electro physical parameters of materials is considered.

УДК 621.365.55

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНВЕЙЕРНОГО МЕТОДА ПЕРЕРАБОТКИ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СФОКУСИРОВАННОЙ АПЕРТУРЫ

Халиков А.З.

Научный руководитель: Д. А. Веденькин, канд. техн. наук, доцент
*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)*

В данной работе был рассмотрен способ реализации конвейерного метода переработки веществ с использованием широкополосной сфокусированной апертуры. В программном пакете CST Studio Suite была создана и рассчитана модель данной установки.

Реализация нового конвейерного метода позволит реализовать необходимые циклы прогрева, обеспечить управление температурой, автоматическое размещение перерабатываемых веществ в зону облучения антенны. Это позволит проводить новые эксперименты с получением продукта требуемого качества. Новый конвейерный метод позволит обеспечить технологические процессы переработки различных веществ, повысить адаптивные возможности и технические характеристики.

Сфокусированные антенные решетки рассмотрены в [1, 2, 3, 4]

Реализация конвейерного метода переработки веществ с использованием широкополосной сфокусированной апертуры заключается в подборе оптимального типа конвейера и настройке фокусировки по широкополосному сигналу.

Сложность данной работы заключается в обеспечении размещения движущегося на конвейере перерабатываемого вещества в зоне облучения антенны в течение заданного времени. Также необходимо обеспечить равномерный нагрев перерабатываемого вещества.

Для реализации данной установки была создана модель в программном пакете CST Studio Suite. В качестве излучателя был

выбран прямоугольный волновод с размерами 45x90 мм со стенками толщиной 2 мм. [5]

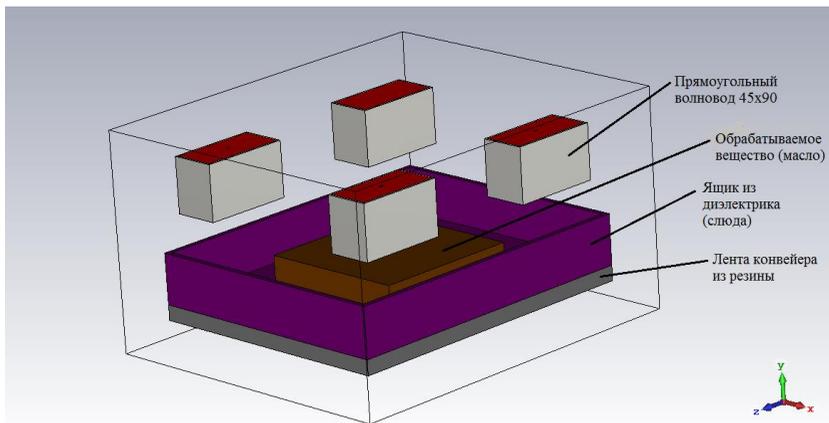


Рис. 1. Модель установки в CST Studio Suite

Расчеты производились с возбуждением всех портов одновременно с различными фазами. [6] Далее на рисунках представлены результаты моделирования.

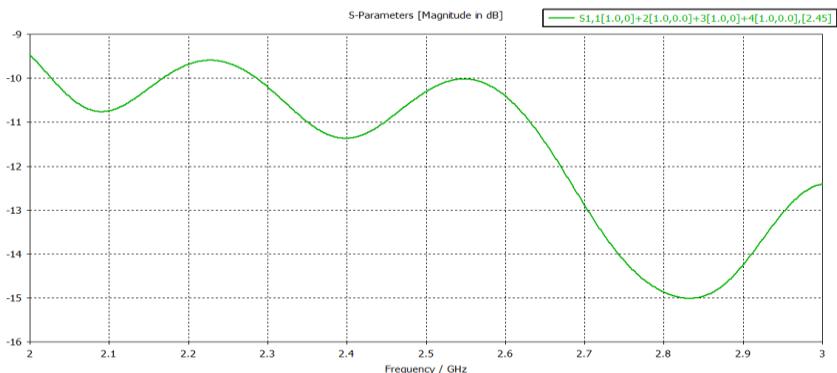


Рис. 2. Коэффициент отражения S11 при одинаковых фазах (0,0,0,0)

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

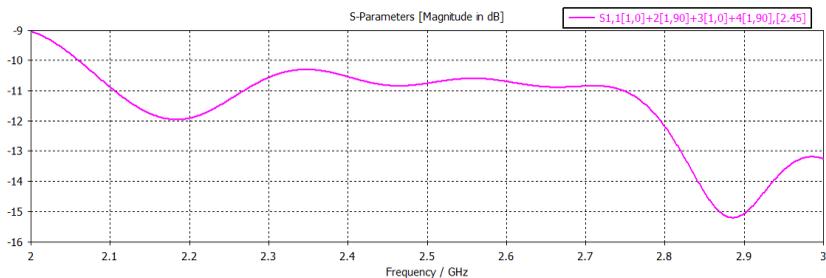


Рис. 3. Коэффициент отражения S11 при различных фазах (0,90,0,90)

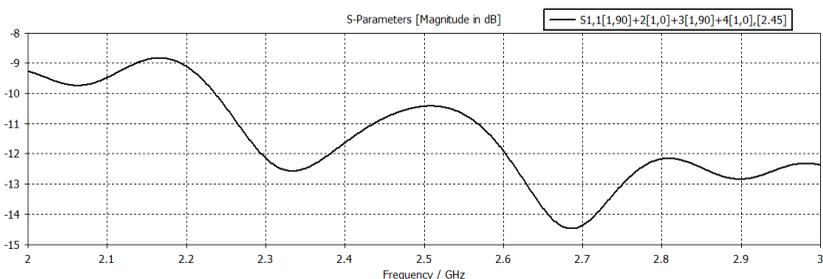


Рис. 4. Коэффициент отражения S11 при различных фазах (90,0,90,0)

Из графиков коэффициентов отражения S11 при различных фазах можно сделать вывод, что при увеличении фазы первой и третьей антенны резонанс происходит на меньшей частоте, чем если увеличивать фазы второй и четвертой антенны.

Одной из главных задач данной установки является обеспечение равномерного нагрева (фокусирование антенны) [7, 8, 9, 10, 11, 12] перерабатываемого вещества, поэтому были рассмотрены распределения потока мощности по поверхности вещества при различных фазах.

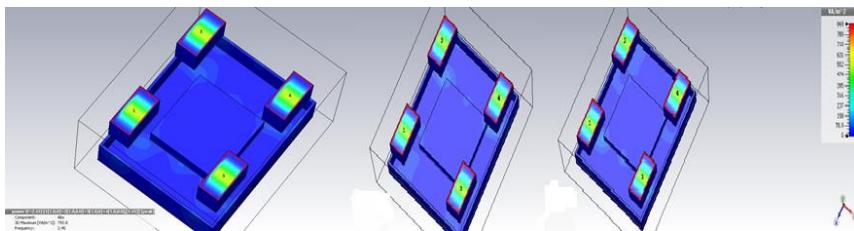


Рис. 5. Распределение потока мощности при различных фазах (0,0,0,0; 0,90,0,90; 90,0,90,0 соответственно)

Из иллюстраций распределения потока мощности при различных фазах можно сделать вывод, что при меньшей фазе пятно потока мощности более равномерное, чем при большей фазе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части Государственного Задания №8.6872.2017/БЧ.

Список литературы:

1. Ведынкин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток, Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 10 (28). С. 56–59.
2. Vedenkin D.A., Potapova O.V., Sedelnikov Y.E. Antennas, focused in the near radiated field zone. Features and technical application, 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT 2013 2013. С. 560–565.
3. Седельников Ю.Е., Ведынкин Д.А. Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу, Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 3-1. С. 23–30.
4. Ведынкин Д.А., Седельников Ю.Е., Потапова О.В. Свойства сфокусированных антенн для задач акустической эхолокационной диагностики, Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 10. С. 64–68.
5. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
6. Курушин А.А. Школа проектирования СВЧ устройств в CST STUDIO SUITE. – М., «One-Book», 2014, 433 стр.

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

7. Ведынькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов, Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. № 4. С. 40–46.

8. Ведынькин Д.А. Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов, Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 5. С. 36.

9. Седельников Ю.Е., Ведынькин Д.А. Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу, Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 3-1. С. 23–30.

10. Ведынькин Д.А., Насыбуллин А.Р., Седельников Ю.Е. Случайные разреженные когерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излучённого поля, Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 4 (32). С. 22–29.

11. Ведынькин Д.А., Седельников Ю.Е. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения, Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 1 (29). С. 18–31.

12. Ведынькин Д.А., Седельников Ю.Е. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов, Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86–88.

**IMPLEMENTATION OF PIPELINED
PROCESSING OF SUBSTANCES WITH
A BROADBAND FOCUSED APERTURE**

Halikov A.

Supervisor: D. Vedenkin,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

Way of implementing pipelined processing of substances using broadband focused aperture were considered in this work. The model of this installation was created and calculated in the software package CST Studio Suite.

УДК 621.365.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПОСЕВНОГО
СВЧ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ
ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРАСТАЮЩИХ СЕМЯН
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

Шамгунов И.И.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Целью данного исследования является определение дозы облучения ЭМП СВЧ - диапазона семян пшеницы, в результате которой происходит значительное увеличение морфофизиологических показателей их проростков.

Облучение СВЧ – излучением действует на клетки семян, и при необходимой дозе облучения, позволяет повысить качество и полевую всхожесть жизнеспособных семян сельскохозяйственных растений. ММ-излучение оказывает непосредственного влияния на процессы жизнедеятельности растения и не вносит в само растение или окружающую среду каких-либо экологически вредных веществ, в отличии от химических методов обработки.

Для определения оптимального режима СВЧ обработки семян пшеницы, в результате которой в них наблюдается наилучший стимулирующий, ростовые процессы, эффект были выбраны семена яровой пшеницы сорта «Экият». В эксперименте участвовало пять групп семян по 50 зерен в группе. Четыре группы укладывались одним слоем в рабочей камере лабораторной микроволновой печи, и облучались в микроволновой печи электромагнитным излучением частотой 2450 МГц. Для работы использовались следующие режимы работы оборудования, а именно режимы потребления электроэнергии от сети электропитания: низкая, средняя и высокая мощности излучения. В каждом режиме работы СВЧ-генератора, четыре группы семян подвергались обработке в течение 15, 30, 45 и 60 секунд. Пятая группа, контрольная, не подвергалась

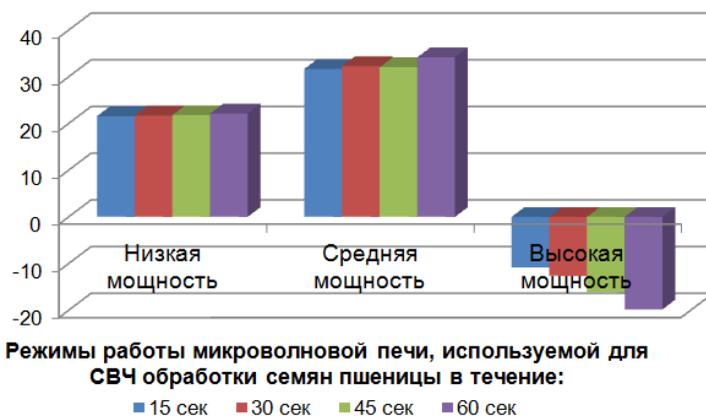
лась никакой обработки и проращивалась в тех же условиях. Что и остальные группы.

Семена всех групп проращивались между двумя слоями влажной фильтровальной бумаги, согласно ГОСТ 12038-84 «СЕМЕНА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР. Методы определения всхожести».

Результаты и их обсуждение. Результаты экспериментов представлены в таблице №1 и диаграммах на рисунке 1 и рисунке 2.

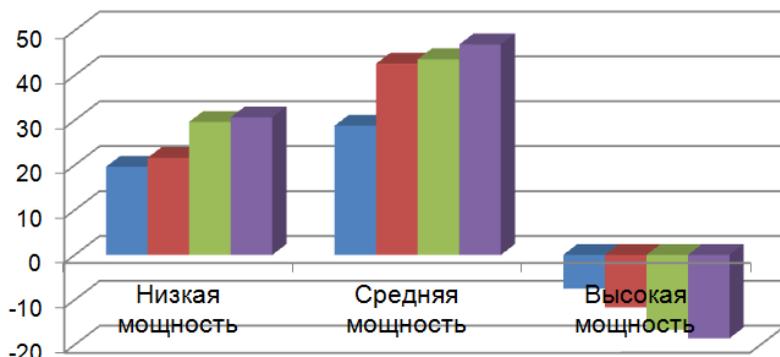
Таблица 1

Длительность предпосевной обработки семян ЭМП СВЧ-диапазона	Морфологические параметры проростков семян яровой пшеницы (усреднённые), в см.								
	Низкая мощность (после 9 суток проращивания)			Средняя мощность (после 7 суток проращивания)			Высокая мощность (после 10 суток проращивания)		
	Длина ростка	Количество корней	Длина корней	Длина ростка	Количество корней	Длина корней	Длина ростка	Количество корней	Длина корней
0 секунд	8,95	4,97	8	4,8	5,02	6,08	20,97	5,6	9,9
15 секунд	10,88	4,97	9,57	6,32	4,95	7,83	18,7	5,47	11,1
30 секунд	10,89	4,95	8,73	6,35	4,95	8,67	18,74	5,45	11,67
45 секунд	10	4,98	10,37	6,34	4,95	8,73	17,59	5,4	10
60 секунд	9,55	4,98	8,12	6,44	4,96	8,93	16,6	5,39	9,77



*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

Рис. 1. Изменение среднего значения длины ростков пророщенных семян, относительно контрольной группы



Режимы работы микроволновой печи, используемой для СВЧ обработки семян пшеницы в течение:

■ 15 сек ■ 30 сек ■ 45 сек ■ 60 сек

Рис. 2. Изменение среднего значения длины корней пророщенных семян, относительно контрольной группы

Анализ результатов данного лабораторного исследования сделать следующий вывод:

При обработке семян пшеницы в режиме работы микроволновой печи на низкой и средней мощности энергопотребления, наблюдается значительный прирост биомассы проростков данных семян.

Наилучший результат настоящего лабораторного исследования воздействия ЭМП СВЧ-диапазона на семена яровой пшеницы, показала группа семян облученная микроволновой печью, работающей в режиме средней мощности потребления электроэнергии в течении 60-ти секунд. Прирост биомассы, длин их ростков и корней, образовавшихся из семян пшеницы, обработанных в данном режиме, составил более 35 %.

После обработки СВЧ ЭМИ микроволновой печи, работающей в режиме высокой мощности энергопотребления, результат показал обратный, ингибирующий эффект, т.е. группа семян не подвергнутая излучению показал лучший результат.

Список литературы

1. Шеин А.Г., Никулин Р.Н., Ковалев И.А., Артемова Д.Г., Чанг Л.Х., Никулина М.П. Экспериментальное исследование воздействия СВЧ-излучения низкой интенсивности на всхожесть // Биомедицинская радиоэлектроника / № 4. – 2009. – С. 77–121.

2. Девятков Н.Д., Бецкий О.В. Особенности взаимодействия миллиметрового излучения низкой интенсивности с биологическими объектами // Сборник докладов: Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине / М.: 1985. С. 6–20.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PREDICTIVE SHAVE EFFECTS ON MORPHOLOGICAL INDICATORS OF GROWING SEEDS OF AGRICULTURAL CROPS

Shamgunov I.

*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*

The purpose of this study is to determine the dose of irradiation EMF microwave range of wheat seeds, as a result of which there is a significant increase in the morphophysiological characteristics of their seedlings.

УДК 621.396

**ПРОЕКТ СФОКУСИРОВАННОГО БЕСПРОВОДНОГО
ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА. ЧАСТЬ 2. ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ
ОБЛАСТИ ФОКУСИРОВКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ПОЛЯ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ**

Юлушева А.И., Акулинин Д.М.

Научный руководитель: Д. А. Веденькин, канд. техн. наук, доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань*)

Рассмотрен принцип фокусировки электромагнитной энергии в замкнутом пространстве при реализации беспроводного зарядного устройства. Представлена математическая модель электромагнитной обстановки внутри ограниченного пространства (помещение прямоугольной формы без учета влияния местных предметов), разработанная на основе лучевого метода распределения сигналов в ограниченном пространстве.

Современные достижения науки и техники значительно облегчили жизнь людей. В настоящий момент трудно представить человека, который бы не пользовался мобильным телефоном, компьютером, интернетом. Сейчас появляется много локальных сетей, поэтому общество начало переходить к беспроводным технологиям. Это позволило использовать открытый доступ к необходимой информации в любое время и в любом месте. Но необходимо учитывать и затрату энергии на работу определенного устройства. Поэтому мы задумались об использовании Wi-Fi технологий для разработки беспроводного мобильного зарядного устройства.

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме распространения радиоволн внутри здания и помещения из-за широкого применения локальных беспроводных сетей. Основным эффектом, наблюдаемым при распространении радиоволн внутри помещений, является многолучевость, обусловленная многократными отражениями радиоволн от стен и других объектов, дифракция на многочисленных острых краях предметов, расположенных внутри комнаты, и рассеяние радиоволн. Данные эффекты создают

сложную интерференционную структуру электромагнитного поля, сильно изменяющуюся при перемещении людей и других объектов [1].

В нашей работе была использована лучевая модель распространения радиоволн внутри помещения, так она учитывает отражение от стен и дифракция на границах препятствий.

Цель работы – улучшение технических и эксплуатационных характеристик беспроводных зарядных станций.

Основная задача - моделирование распространения и фокусировки электромагнитной энергии в замкнутом пространстве и оценка размеров области фокусировки электромагнитного поля с использованием пакета прикладных программ MathCAD.

Рассмотрим алгоритм расчета области фокусировки электромагнитного излучения внутри комнаты с заданными параметрами. Было выбрано три излучателя, которые находились в разных углах прямоугольной комнаты, координаты которых заранее были известны и заданы, они соответствовали размерам комнаты в выбранной координатной плоскости (рис. 1).

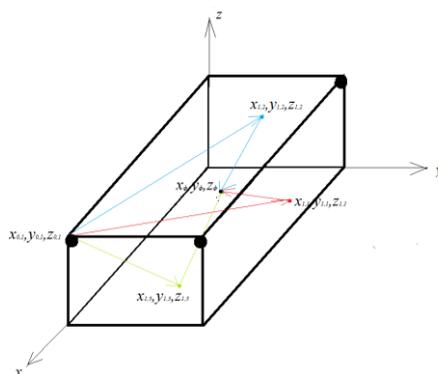


Рис. 1. Схематическое изображение в пространстве координат одного излучателя из трех и точки отражения волны от двух стен и пола

Координаты точки фокусировки были вычислены с помощью метода трилатерации. Представляя падающую поперечную элек-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

ромагнитную волну в виде луча (прямой), были определены координаты точки отражения от стен и пола с помощью уравнений прямых. Далее с помощью формул рассчитаны прямое расстояние от излучателей до точки фокусировки и расстояние с учетом одного отражения от стен и пола до точки фокусировки. Зависимость напряженности электромагнитного поля в замкнутом пространстве выражена:

$$E_{\phi}(x, y, z) = \sqrt{\left[\left[\sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^3 \frac{I_i \cdot e^{-jk1[R\phi_{0,i} - R_T(x,y,z)_{k,i} - Lm_k]} \cdot L_k \right] \right]^2},$$

где $R\phi_{0,i}$ – прямое расстояние от излучателей до точки фокусировки, $R_{T_{k,i}}$ – расстояние от излучателей с учетом одного отражения от стен и пола до точки фокусировки, Lm_k – коэффициент, учитывающий изменение фазы на 180° при отражении ЭМ сигнала, L_k – коэффициент, учитывающий долю прохождения и отражения ЭМ сигнала, $k1$ – волновое число. Нижний индекс i означает номер излучателя, а k – номер луча. Суть фокусировки электромагнитного поля в заданной области пространства заключается в увеличении концентрации электромагнитного излучения, которая осуществляется с помощью сфокусированных антенных решеток, свойства которых рассмотрены в [3–8]. Технические приложения с применением ФАР рассмотрены в работах [9, 10]. Для реализации беспроводного зарядного устройства была использована планарная антенна.

В заключение хотелось бы отметить несколько важных моментов, связанных с использованием разработанной математической модели. Очевидно, что данная формула не может в полной мере учесть все факторы, влияющие на структуру отраженных полей в ограниченном пространстве, к тому же было учтено лишь одно отражение от стен и пола, а в действительности их намного больше. При анализе проведенного моделирования можно сделать вывод, что в точке ($x_{\phi} = t = -1, y_{\phi} = u = 1, z_{\phi} = v = 1$) фокуси-

ровка осуществляется, так как происходит синфазное сложение электромагнитных полей (рис. 2.а, б, в).

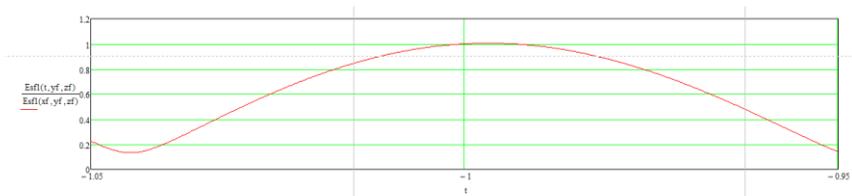


Рис. 2. а) График распределения напряженности ЭМ поля в окрестностях точки фокусировки по оси X

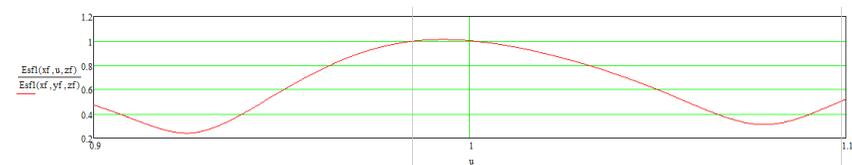


Рис. 2. б) График распределения напряженности ЭМ поля в окрестностях точки фокусировки по оси Y

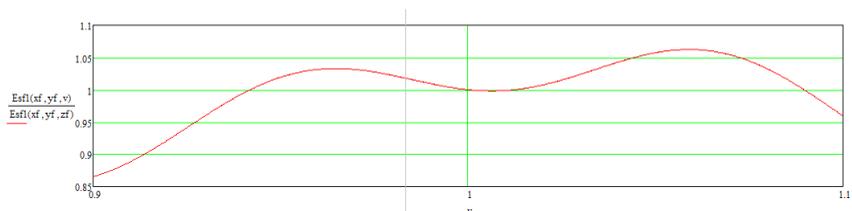


Рис. 2. в) График распределения напряженности ЭМ поля в окрестностях точки фокусировки по оси Z

В дальнейшем авторы видят своей целью улучшение характеристик сфокусированной антенной решетки, функционирующей в замкнутом пространстве при реализации беспроводного зарядного устройства.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части Государственного Задания №8.6872.2017/БЧ.

Список литературы

1. *Гавриленко В.Б.* Распространение радиоволн в современных системах мобильной связи / В.Б. Гавриленко, В.А. Яшнов. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет, 2003. – 148 с.
2. *Vedenkin D.A.* Control of parameters of large aperture antenna arrays with using the overflight method and principles of virtual focused apertures / D.A. Vedenkin., V.I. Klassen., Yu.E Sedelnikov // *Нелинейный мир.* 2017. Т. 15. № 1. С. 32–36.
3. *Vedenkin, D.A.* Antennas, focused in the near radiated field zone. features and technical applikation / O.V. Potapova, Y.E. Sedelnikov // В сборнике: 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT 2013 2013. С. 560–565.
4. *Веденькин, Д.А.* Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников. // *Глобальный научный потенциал.* 2013. № 10(31). С. 86–88.
5. *Веденькин, Д.А.* Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов / Ю.Е. Седельников. // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы.* 2008. Т. 11. № 4. С. 40–46.
6. *Веденькин, Д.А.* Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы.* 2007. Т. 10. № 5. С. 36.
7. *Веденькин, Д.А.* Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // *Вестник Поволжского государственного технологического университета.* Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 1 (29). С. 18–31.
8. *Веденькин, Д.А.* Случайные разреженные когерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излучённого поля / Д.А. Веденькин, А.Р. Насыбуллин, Ю.Е. Седельников // *Вестник Поволжского государственного технологического университета.* Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 4 (32). С. 22–29.

9. *Веденькин, Д.А.* Свойства объемных случайных антенных решеток, сфокусированных в зоне ближнего излученного поля / Седельников Ю.Е., Насыбуллин А.Р., Рябова Н.В., Иванов В.А. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 12. С. 30–34.

10. *Веденькин, Д.А.* Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток / Ю.Е. Седельников // Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 10 (28). С. 56–59

THE ASSESSMENT OF SIZE FOCUSING AREA OF ELECTROMAGNETIC FIELD IN CLOSED SPACE

Yulusheva A., Akulinin D.

Supervisor: D. Vedenkin, PhD., associate professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

In this article the principle of focusing of electromagnetic energy in closed space in case of implementation of the wireless battery charger is considered. It is shown the mathematical model of an electromagnetic situation in limited space (squared location without taking note of local objects) developed on the basis of a ray method of distribution of signals in limited space.

УДК 681.5.08

**КОАКСИАЛЬНЫЙ ВОЛНОВОД С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ
НЕОДНОРОДНОСТЯМИ КАК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ
ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО КОНТРОЛЯ**

Юсупов Т.И., Зайцев А.Д.

Научный руководитель: А.Р. Насыбуллин, канд. техн. наук, доцент
*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, Казань)*

В докладе представлены метод создания СВЧ-структур брэгговского типа, реализованных в коаксиальном кабеле, для измерения электрофизических параметров неоднородных жидкостей, позволяющих проводить измерение в дискретном и непрерывном виде.

В радиочастотной области аналогом волоконной-оптической решетки Брэгга можно считать структуру, представляющую собой расположенные в направляющем волноводе периодические неоднородности. Если в качестве направляющего волновода использовать коаксиальный кабель, то такой реализацией является – брэгговская СВЧ-структура в коаксиальном кабеле (БСКК). Данная структура представлена на рисунке 1.

Введение неоднородностей в структуре производится высверливанием отверстий во внешнем проводнике и диэлектрическом заполнении кабеля. Суперпозиция падающих и отраженных от неоднородностей волн формирует частотную характеристику коэффициента отражения и передачи структуры, определяемые условием Брэгга, показывающим, что резонанс отражения возникает, когда длина волны в волноводе становится равной удвоенному значению периода брэгговской структуры.

Периодическое расположение отверстий приводит к отражениям распространяющейся электромагнитной волны от каждой неоднородности. Суперпозиция отраженных волн формирует частотную характеристику коэффициента отражения БСКК, в котором существуют кратные дискретные резонансы, определяемые условием Брэгга.

Измерение диэлектрических параметров сред - производится внесением исследуемого вещества в неоднородности брэгговской структуры. В результате преобразования комплексной проводимости неоднородностей изменяется форма частотной характеристики коэффициента отражения и передачи всей структуры, характер этих изменений будет указывать на значения диэлектрических характеристик внесенной среды. При изменении диэлектрических параметров среды происходит расширение полосы контура, увеличение амплитуды резонанса и сдвиг резонансной частоты.

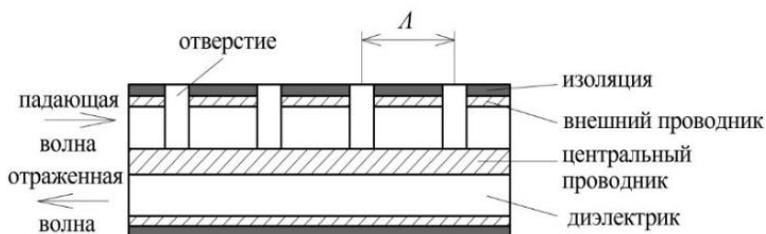


Рис. 1. Модель брэгговской структуры в коаксиальном кабеле

В работе использовался коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 100 Ом. Модель коаксиального кабеля задавалась со следующими параметрами:

- длина кабеля: 215 мм;
- радиус центрального проводника: 0,65 мм;
- радиус внутреннего диэлектрика: 7,3 мм;
- материал внутреннего диэлектрика: тефлон с $\varepsilon=2.1$.
- радиус внешнего проводника: 8,3 мм;
- период структуры (расстояние между отверстиями): 20 мм;
- количество отверстий в кабеле: 10;
- радиус отверстия: 4 мм;
- глубина отверстия: 7,65 мм;

В работе рассматривается помимо обычного коаксиального кабеля с брэгговской структурой - эксцентричная коаксиальная линия и коаксиальный кабель с утолщениями между неоднородностями брэгговской структуры, для улучшения определения электрофизических параметров жидких продуктов.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

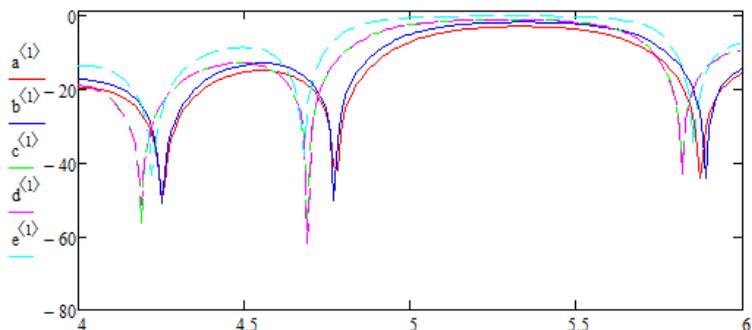


Рис. 2. Частотная зависимость коэффициента отражения для различных конфигураций кабеля. а – кабель без изменений; б – эксцентричный кабель; с – кабель с утолщением внутреннего проводника справа от отверстия; д – кабель с утолщением внутреннего проводника слева от отверстия; е – кабель с утолщением внутреннего проводника по центру между отверстиями

Как видно из рисунка 2, что эксцентричная линия и утолщения на внутреннем проводники увеличивают коэффициент прямоугольности и так же увеличивают полосу частот резонанса коэффициента отражения. Так же увеличивается полоса частот резонанса и сам коэффициент отражения. Из рисунка видно, что намного лучшим резонансом коэффициента отражения является вариант е, так как измерения возможно проводить в большей полосе частот.

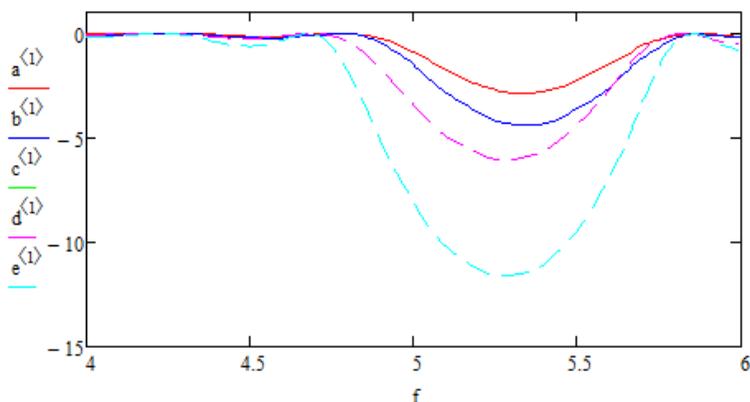


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента передачи для различных конфигураций кабеля. а – кабель без изменений; б – эксцентричный кабель; с – кабель с утолщением внутреннего проводника справа от отверстия; д – кабель с утолщением внутреннего проводника слева от отверстия; е – кабель с утолщением внутреннего проводника по центру между отверстиями

Из рисунке 3 видно, что при изменении конфигурации кабеля, увеличивается амплитуда коэффициента передачи, а также увеличивается полоса частот резонанса.

Так как в отверстиях брэгговской структуры поле распределяется не равномерно, а по «экспоненциальной» кривой, можно изменить конфигурацию кабеля для повышения равномерности, а также для увеличения точности измерения нужно создать поле вне кабеля, так как в неоднородности брэгговской структуры возможно заполнение среды с одними диэлектрическими параметрами, а вблизи них будет располагаться среда с другими параметрами. Для этого рассмотрим распространение поля в четырех конфигурациях кабеля (рис. 4):

- а) кабель без изменений;
- б) эксцентричный кабель;
- в) кабель с утолщением внутреннего проводника слева от неоднородности;

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

г) кабель с утолщением внутреннего проводника по центру между неоднородностями.

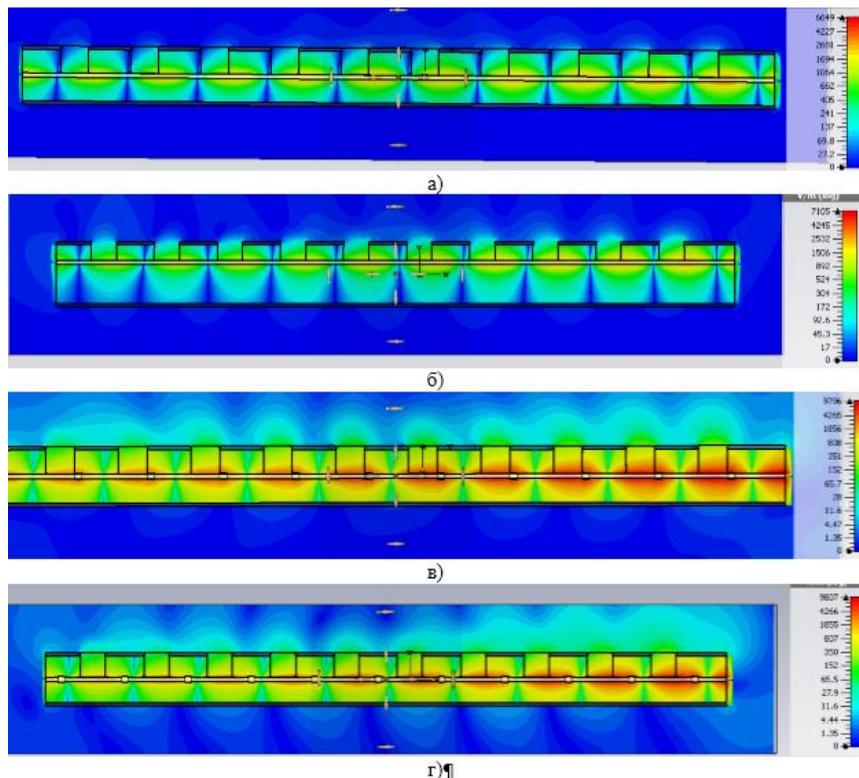


Рис. 4. Распространение электрического поля в кабелях при разных конфигурациях кабеля

Как видно из рисунка 4, эксцентричная линия повышает равномерность распределения поля в отверстиях, но наиболее лучшим вариантом является варианты с внедрением утолщений на внутренний проводник, так как повышается равномерность электрического поля в неоднородностях, но и вне кабеля, тем самым повышая точность измерений.

Список литературы

1. Ганстон М. А. Р. Справочник по волновым сопротивлениям фидерных линий СВЧ. Пер. с англ. Под ред. А.З. Фрадина. – М. Связь, 1976.—138 с.

2. Гроднев И. И., Фролов П. А. Коаксиальные кабели связи. — 2-е изд., перераб. доп. — М.: Радио и связь, 1983. — 208 с.

3. Насыбуллин, А.Р. Брэгговские сенсорные СВЧ-структуры на коаксиальном кабеле / А.Р. Насыбуллин, О.Г. Морозов, А.А. Севастьянов // Журнал радиоэлектроники (электронный журнал). – 2014. – № 3. – С. 1–17.

4. Насыбуллин А.Р. Преобразовательный элемент измерителя уровня жидких продуктов на основе брэгговской СВЧ-структуры в коаксиальном кабеле / Насыбуллин А.Р., Морозов О.Г., Севастьянов А.А., Фархутдинов Р.В., Самигуллин Р.Р. // Издательский Дом «Академия Естествознаний», 2014, № 6.

5. Неганов В.А., Яровой Г.Л. Теория и применение устройств СВЧ: Учебн. пособие для вузов / Под ред. В.А. Неганова – М.: Радио и связь, 2006. – 720 с.

6. Шарапов В.М. Датчики / Шарапов В.М., Полищук Е.С., Кошевой Н.Д., Ишанин Г.Г., Минаев И.Г., Совлуков А.С. // Техносфера, 2012.

COAXIAL WAVEGUIDE WITH PERIODIC INHOMOGENEITIES AS A CONVERSION ELEMENT FOR DISTRIBUTED CONTROL

Yusupov T., Zaytsev A.

Scientific director: A. Nasybullin, Ph.D., associate professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

The report presents a method for creating Bragg-type microwave structures implemented in a coaxial cable for measuring the electro-physical parameters of inhomogeneous liquids that allow measurement in a discrete and continuous form.

УДК 612.816:591:577.175.822

**СВЕТОДИОДНЫЙ ОСВЕТИТЕЛЬ
ДЛЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ
СВЕТОДИОДА LUXEON REBEL LED 7-UP BASE**

Яруллов Р.Ш.¹

Научный руководитель: Самигуллин Д.В.^{1,2,3}

(¹Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, ²Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, ³Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, г. Казань)

Данная работа описывает конструкцию светодиодного осветителя на основе светодиодной сборки для флуоресцентных исследований, порядок выбора источника излучения и примеры исследований для которых он применяется.

Применение новых флуоресцентных маркеров для окраски внутриклеточных структур и основных сигнальных систем, включая ионы кальция, существенно расширило возможности флуоресцентной микроскопии в последние годы [1]. Для возбуждения флуоресцентных красителей в определенном диапазоне длин волн используются различные осветители. Для освещения биологических образцов в широком диапазоне длин волн в основном используют ртутные и ксеноновые лампы совместно с монохроматорами или оптическими фильтрами и источники света на основе лазеров. Недостатком ламповых источников освещения является тот факт, что их спектр излучения лежит в широком диапазоне длин волн, от видимой до ультрафиолетовой областей, у них также высокий уровень собственных шумов. Лазерные источники освещения излучают монохроматический свет, чей спектр излучения сильно ограничен, но имеют большую мощность излучения. У лазерных и ламповых источников излучения трудно управлять мощностью, также ламповые источники излучения имеют большую инерционность во времени.

В последние годы, благодаря техническим достижениям в области полупроводниковой техники стали доступны сверхяркие светодиоды (light emitting diode, LED) которые имеют ряд преимуществ перед традиционными источниками света:

1. Достаточная мощность излучения и узкий спектр излучения (в результате чего не требуется установка светофильтров).

2. Излучение от диода можно легко завести в световод для направления излучения в нужную область.

3. Стоимость, исключая ультрафиолетовые LED (210–350 нм), намного ниже по сравнению с ламповыми источниками излучения и лазерами.

Основным их недостатком в прошлом было то, что они имели малую мощность излучения, которую было недостаточно для подсветки флуоресцентных маркеров. Сейчас же появились достаточно мощные диоды, а также диодные сборки, которые объединяют несколько диодов в одном корпусе. При всем это осветитель на основе диодов получается достаточно простым в реализации, так как для него не требуются светофильтры, не требуются специальные схемы включения, а низкая инерционность позволяет отказаться от заслонок. Диод имея низкую инерционность включается и выключается практически мгновенно, и обеспечивает определенный уровень освещенности образца в заданном временном диапазоне [2].

В ходе обзора имеющихся диодов в качестве источника излучения был выбран светодиодная сборка LUXEON Rebel LED 7-Up Base (470nm), который обеспечивал излучение на требуемой длине волны и достаточную мощность излучения.

Преимуществом данной светодиодной сборки является тот факт, что светодиоды, расположенные в этой сборке можно включать по отдельности или все вместе, это позволяет регулировать мощность светового потока. Производитель предлагает два варианта подключения светодиодов.

1 Вариант. Рис. 1. В первом варианте питание подается на две контактные площадки, от которых питание подходит ко всем светодиодам, но цепи питания у каждого светодиода разомкнуты, для того что бы светодиод загорелся цепь нужно замкнуть, для это-

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

го на подложке есть специальные точки для пайки светодиодов, капнув припоем на эти точки цепь питания светодиода находяще-гося у этой точки замыкается.

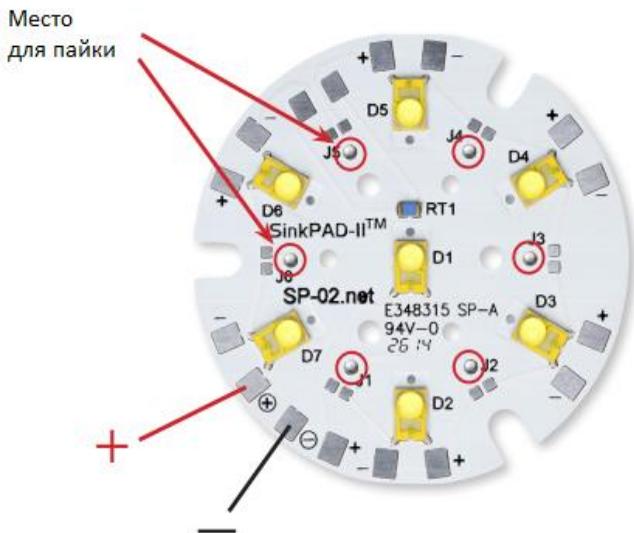


Рис. 1. Места для пайки на подложке

2 Вариант. Рис. 2. Во втором варианте питание можно напрямую подать на каждый светодиод раздельно и управлять им.

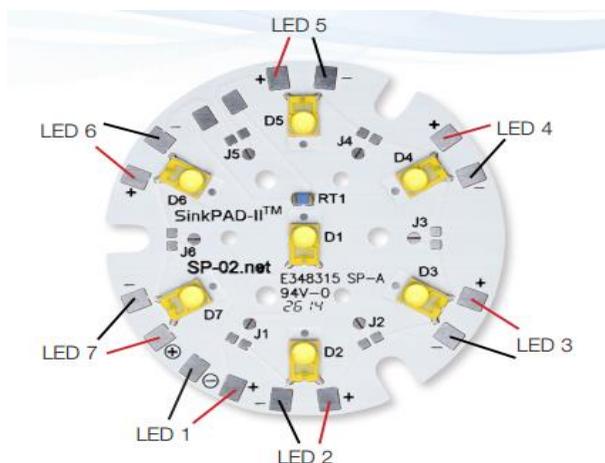


Рис. 2. Контактные площадки для каждого светодиода

Источник питания был выбран марки LUXEDRIVE 3021-D-E-700, который обеспечивал питание диода на 700 мА, а также имеет специальный вход для коммутации светодиода.

Излучение в оптоволокно заводится через специальный конденсор Рис. 3



Рис. 3. Конденсор для светодиодной сборки

Данный конденсор разработан специально для светодиодной сборки LUXEON Rebel LED 7-Up Base и специально предназначен для того что бы заводить излучение от диодов в оптоволокно.

*ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ*

На рисунке 4 представлена блок схема осветителя на основе светодиода

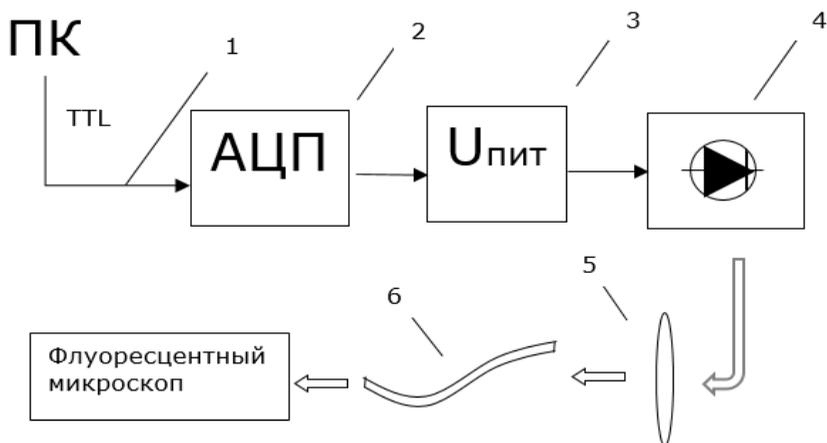


Рис. 4. Схема светодиодного осветителя

- 1 – Канал управления TTL.
- 2 – Аналого-цифровой преобразователь.
- 3 – Источник питания.
- 4 – Диод.
- 5 – Коллиматор.
- 6 – Оптоволоконный кабель

Включение диода осуществляется с компьютера, который управляет источником питания через АЦП на который передается сигнал через интерфейс TTL. Излучение от диода направляется в оптоволоконный кабель через коллиматор и заводится в осветительный порт микроскопа.

На рисунке 5 показана схема хода лучей в флуоресцентном микроскопе. Излучение из оптоволоконного кабеля передается на полупрозрачное зеркало, откуда оно отражается и перенаправляется на образец исследования, попав на образец излучение от диода, спектр которого лежит в синем диапазоне длин волн, возбуждает его в результате чего образец начинает светиться в зеленом диапазоне длин волн. Излучение от образца проходит через полупрозрачное зеркало и попадает на детектор.

Полупрозрачное зеркало выбирается с тем учетом что бы отражать свет от диода и пропускать флуоресцентное излучение от образца исследования.

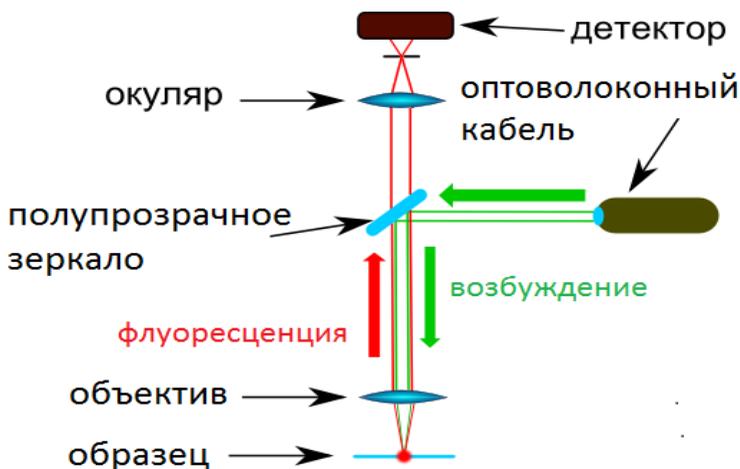


Рис. 5. Флуоресцентный микроскоп (с изменениями из [3])

Данный осветитель с успехом применяется в нашей лаборатории в качестве альтернативы монохроматору, при исследованиях динамики кальция в периферических нейронах позвоночных животных при помощи флуоресцентных кальциевых красителей. С помощью разработанного осветителя были проведены исследования с применением высоко и низко аффинных кальциевых красителей [4], исследованию по влиянию холинергических агентов на пресинаптический уровень кальция [5] и исследования динамики кальция в синапсах теплокровных животных [6].

Таким образом, можно заключить, что на сегодняшний день осветители на основе светодиодов являются оптимальными источниками излучения, так как они соответствуют всем требованиям для флуоресцентных исследований при не высокой стоимости и простотой схемной реализации.

ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ
И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ

Работа поддержана грантами: РФФИ № 16-04-01051; Президиума РАН «Механизмы интеграции молекулярных систем при реализации физиологических функций». Работа частично выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Список литературы

1. Tsien, R. Y. Fluorescent indicators of ion concentrations / R. Y. Tsien // *Methods Cell Biol.* – 1989. – Vol. 30. – P. 127–156.
2. Хохлов А. А. Мультиволновой осветитель для микрофотометрических исследований одиночных клеток / А. А. Хохлов, В. В. Шугайло, В. В. Кононенко, С. С. Колесников // *Научное приборостроение.* – 2013. – том 23, № 2. – с. 112–117.
3. URL:(<https://ru.wikipedia.org>).
4. URL:(<http://www.luxeonstar.com/blue-470nm-sinkpad-ii-40mm-7-led-round-led-70lm>).
5. Samigullin, D.V. Estimation of presynaptic calcium currents and endogenous calcium buffers at the frog neuromuscular junction with two different calcium fluorescent dyes / D.V. Samigullin, N.F. Fatikhov, E.F. Khaziev, A.I. Skorinkin, E.E. Nikolsky, E.A. Bukharaeva // *Front. Synaptic Neurosci.* – 2015. – Jan 7; 6:29. doi: 10.3389/fnsyn.2014.00029. eCollection 2014.
6. Khaziev, E. F. Decreased entry of calcium into motor nerve endings upon activation of presynaptic cholinergic receptors / E.F. Khaziev, N.F. Fatikhov, D.V. Samigullin, G.L. Barrett, E.A. Bukharaeva, E.E. Nikolsky // *Dokl Biol Sci.* – 2012.Sep. – Oct. – V. 446. – P. 283–285.
7. Samigullin, D.V. Calcium transient registration in response to single stimulation and during train of pulses in mouse neuromuscular junction / D.V. Samigullin, E.F. Khaziev, N.V. Zhilyakov, I.A. Suda-kov, E. A. Bukharaeva, E. E. Nikolsky // *BioNanoSci.* – 2016. – doi:10.1007/s12668-016-0318-6.

**LIGHT EMITTING DIODE ILLUMINATOR
FOR FLUORESCENT STUDIES BASED
ON THE LUXEON REBEL LED 7-UP BASE**

*Yarullov R.Sh.*¹

Supervisor: Samigullin D.V.^{1,2,3}

(¹Kazan National Research Technical

*University named after A.N. Tupolev-KAI, ²Kazan Institute
of Biochemistry and Biophysics, KSC RAS,*

³Kazan Federal University, Kazan)

This paper describes the construction of a Light emitting diode illuminator for fluorescence studies, the procedure for selecting the source of light and the examples of studies for which it is applied.

ПОДСЕКЦИЯ 6.3
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ
СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ,
КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

УДК 681.518.3:629.1

СИНТЕЗАТОР НИЗКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ

Ахметшин Н.С.

Научный руководитель: В.В. Петровский, канд. техн. наук, доцент
(*Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

В работе предложено микропроцессорное малогабаритное автономное устройство, позволяющее проводить синтез различных звуковых эффектов.

Устройства для создания звуковых эффектов различаются по функциональным возможностям, быстродействию, качеству, способу реализации. Часть из них способна работать автономно, другие только в качестве блока системы, кроме того существует разделение на системы, работающие в реальном времени и способные обработать ранее записанный сигнал.

В данной работе мы предлагаем автономное устройство, способное к созданию звуковых эффектов в реальном масштабе времени и качественной обработке сигнала, а также имеющему достаточно широкие функциональные возможности при высокой точности преобразования сигналов. К реализуемым звуковым эффектам относятся «эхо», «робот», а также эффект Pitch Conversion [1], основанный на сдвиге спектра исходного звукового сигнала по частоте.

Преимуществом данной реализации является автономность и отсутствие необходимости в компьютере со звуковой картой для своей работы. Кроме того присутствует возможность изменения функциональных возможностей устройства без вмешательства в аппаратную часть, т.е. только на программном уровне.

Структурная схема цифрового синтезатора построена по классической схеме. Она включает в себя последовательное преобразование выходного аналогового сигнала микрофона в цифровой код высокой разрядности, цифровую обработку в высокоразрядном и высокопроизводительном процессоре, обратное преобразование

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

цифрового кода в аналоговый сигнал с низкой погрешностью восстановления сигнала (обеспечение минимума коэффициента гармоник) и вывод аналогового сигнала на внешний усилитель. Все операции конечно должны выполняться в реальном времени с достаточно малой задержкой.

На рисунке 1 представлена функциональная схема цифрового синтезатора.

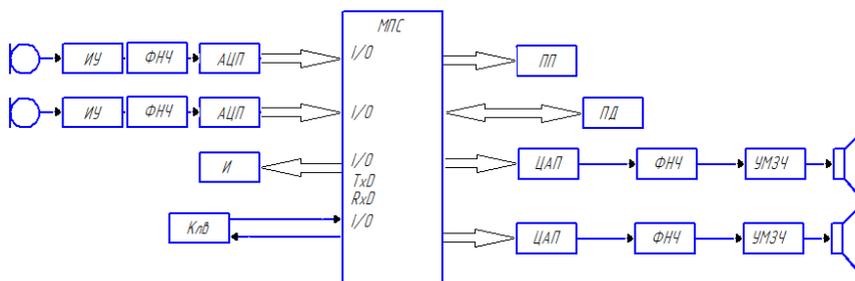


Рис. 1. Функциональная схема цифрового синтезатора
ИУ – измерительный усилитель; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; И – индикатор; Клав – клавиатура; ПП – память программ; ПД – память данных; ФНЧ – фильтр нижних частот; УМЗЧ – усилитель мощности нижних частот; МПС – микропроцессорная система

Поступающие на входы модулей АЦП предварительно усиленные в измерительном усилителе аналоговые сигналы подвергаются дискретизации. Далее, полученные последовательности выборок оцифровываются и обрабатываются в микропроцессорной системе по выбранному алгоритму в соответствии с необходимым звуковым эффектом.

После завершения обработки последовательность цифровых выборок подается на вход модуля ЦАП, с выхода которого аналоговый сигнал поступает на вход ФНЧ, а далее усиливается на УМЗЧ.

Выбор звукового эффекта и силы его воздействия осуществляется с помощью клавиатуры.

При аппаратной реализации в качестве предварительного усилителя был выбран малошумящий операционный усилитель ОРА604. Процессорная часть реализована на базе DSP-процессора ADAU1701 фирмы Analog Devices.

Выбранный процессор – это полнофункциональная однокристалльная аудиосистема, включающая в себя 28-/56-разрядный цифровой сигнальный аудиопроцессор, 24-разрядные АЦП, ЦАП и характерные для микроконтроллеров интерфейсы управления. Он обеспечивает такие функции обработки сигналов как частотная коррекция, разделительная фильтрация, подчеркивание басов, многополосная динамическая обработка, компенсация задержки, компенсация частотной характеристики динамиков и расширение стереобазы. Эти функции могут быть использованы для компенсации ограничений, накладываемых физическими характеристиками реальных динамиков, усилителей и сред окружения.

Частота дискретизации аналогового сигнала выбрана равной 192 кГц. Это значение частоты, использование 2^{24} -разрядного квантования сигнала по уровню и наличие фильтра нижних частот третьего порядка на выходе позволило обеспечить погрешность восстановления сигнала ниже 0,004%.

Список литературы

1. *Путер Кирн*. Цифровой звук. Реальный мир – М: «И.Д. Вильямс», 2008. – 714 с.

СИНТЕЗАТОР НИЗКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ

Akhmetshin N.

Supervisor: V. Petrovsky, Ph.D. (Eng.), Associate Professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

The paper presents an microprocessor small-sized autonomous device, which makes possible to synthesise various sound effects.

УДК 64.011.56: 631.544.44

МОДУЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ МАЛЫХ ТЕПЛИЦ

Бичурин С.В.

Научный руководитель: А.А. Сухарев, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Рассмотрены пути автоматизации малых теплиц на основе наращиваемых модулей из унифицированного контроллера и резистивных датчиков контролируемых величин.

К основным задачам для дачников и огородников в период ухода за растениями в теплицах относят: контроль и управление температурным и влажностным режимом, полив и подкормка удобрениями, наблюдение за вегетацией, болезнями и возможными вредителями растений. Причем больше всего времени уходит на простейшие операции, например, полив, проветривание, подкормка. Создание автоматизированной тепличной системы управления приводит к использованию одного центра управления со множеством датчиков (температуры, влажности, уровня и т.п.) и исполнительских устройств. Такая система автоматизации не может быть дешевой в принципе, что означает их использование только в крупных тепличных комплексах. Для малых теплиц дачников и огородников такой подход непригоден в принципе. Накладываемые ограничения (по стоимости, надежности, простоте) делают эту задачу почти нереализуемой при традиционном подходе.

Одним из возможных решений в нашем случае является переход к модульному принципу, который означает, что каждый модуль является отдельной системой контроля одного из параметров, со своим блоком управления, датчиками и исполнительскими устройствами. Набор нескольких модулей позволяет создать готовую законченную систему, с управлением по нескольким параметрам. При этом блок управления (для уменьшения себестоимости)

должен быть унифицированным, но и в этом случае стоимость итоговой системы может быть значительной.

В попытке решить эту проблему мы проанализировали рынок контроллеров и выбрали контроллер минимальной стоимости W1209 [1], включающий микроконтроллер STM8S003F3P6, кнопки управления, цифровой индикатор, стабилизатор напряжения питания, реле управления исполнительными устройствами и датчик управления, см. рис. 1.

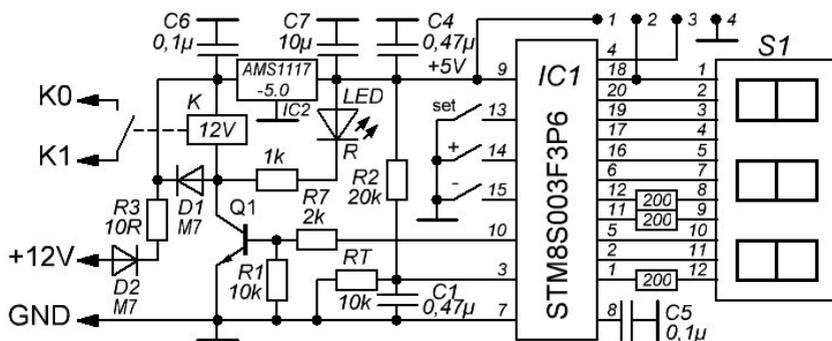


Рис. 1. Схема контроллера W1209

Возможные графики управления, реализуемые таким контроллером условно можно представить на рисунке 2, где тип гистерезиса (А или Б), точки начала (Pн) и конца (Pк) гистерезиса контролируемой величины задаются пользователем на контроллере.

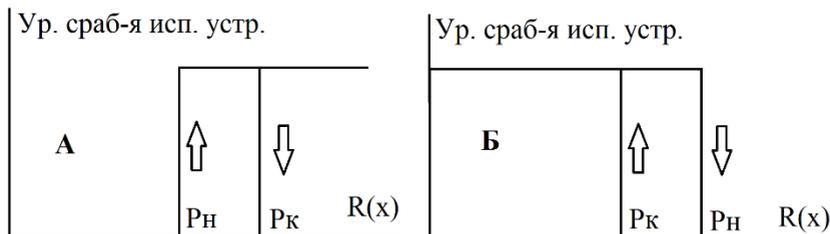


Рис. 2. Виды гистерезиса контроллера

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

При таком подходе можно унифицировать датчики измеряемых величин (температуры, влажности, уровня и т.п.) по виду функции преобразования, с линеаризацией последней, см. рис. 3.

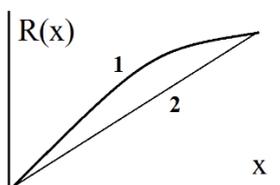


Рис. 3. Функция преобразования унифицированного датчика.
Обозначения: 1 – реальная зависимость, 2 – линейно
аппроксимированная зависимость датчика

Такой подход позволяет использовать общий блок управления со стандартизированным значением сопротивления датчика на уровне 10 кОм. Исполнительные устройства, к сожалению, не стандартизируются, но можно стандартизировать способ их включения по включению и управлению.

Список литературы

1. Электронный термостат / W1209. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://mysku.ru/blog/aliexpress/33350.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

MODULAR AUTOMATION SYSTEMS FOR SMALL GREENHOUSES

Bichurin S.

Supervisor: A. Sukharev, Ph.D.

(Kazan National Research Technical

University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan)

The ways of automation of small greenhouses are considered on the basis of stackable modules from a unified controller and resistive sensors of controlled quantities.

УДК 681.586.48

ЦИФРОВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ИМПУЛЬСНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ КОНТРОЛЕ НЕОДНОРОДНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ

Бычкова И.Ю.

Научный руководитель: Л.А. Славутский,
докт. физ.-мат. наук, профессор
(*Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары*)

В работе предлагается алгоритм обработки импульсных ультразвуковых сигналов, основанный на интегральной оценке формы корреляционной функции. Методика расчета позволяет с большой точностью определить малые задержки между импульсами, которые пришли в приемник сквозь неоднородную среду по разным траекториям. Экспериментальные измерения проводились при рассеянии ультразвукового сигнала в неоднородном потоке воздуха.

Работа эхо-импульсных ультразвуковых (УЗ) приборов различного назначения основана на измерении времени прохождения УЗ волн сквозь среду. Традиционно временная задержка УЗ импульса измеряется по переднему фронту. В качестве передатчиков ультразвука чаще всего используются резонансные преобразователи. Они не позволяют реализовать высокую скорость нарастания переднего фронта. Это приводит к существенным погрешностям при измерении временной задержки сигналов [1]. Для повышения помехоустойчивости и увеличения разрешения УЗ прибора вместо традиционного способа используется дифференциальный, на основе корреляционной обработки. Этот способ основан на оценке временной разницы между пиками взаимной корреляционной функции (ВКФ). Для эффективного корреляционного приема дополнительно используется фазовая модуляция (ФМ) сигналов, поскольку малая ширина автокорреляционной функции такого сигнала способствует увеличению точности нахождения временной задержки.

УЗ измерения при распространении нескольких лучей помо-

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

гают оценить пространственную неоднородность среды [2]. Однако в таком случае происходит интерференция сигналов, пришедших от излучателя на вход приемника по разным траекториям, с разной задержкой. Положительным моментом корреляционной обработки наложенных друг на друга сигналов является нахождение относительной разницы между их задержками без учета момента старта передачи импульса.

В работе рассматривается двухлучевое распространение УЗ сигналов для оценки неоднородности среды. Для увеличения разрешения УЗ прибора при измерении относительной задержки УЗ импульсов используется цифровое формирование ФМ сигналов по коду Баркера [3], корреляционная обработка и интегральная оценка формы корреляционной функции.

Алгоритм обработки УЗ сигналов состоит из следующих шагов: генерация ФМ сигнала по коду Баркера; запись эталонного сигнала $S_{\Sigma}(t)$ при прямом прохождении сквозь среду между преобразователями; расчет ВКФ $R(t)$ суммарного сигнала на входе приемника $S_{\Sigma}(t)$ и сигнала $S_{\Omega}(t)$; расчет мощности ВКФ $w(t) = R^2(t)$ и её огибающей $W'(t)$; определение средневзвешенного положения «центра тяжести» огибающей мощности ВКФ по координате t :

$$t_c = \int t \cdot W'(t) / \int W'(t) .$$

На рисунке 1 наглядно показана работа алгоритма. Для сравнения приведены три ВКФ для различных значений задержки Δt . При $\Delta t = 0$, согласно рисунку, ВКФ имеет явный центр симметрии ($R_1(t)$), в котором наблюдается максимальное значение функции. По мере роста задержки ВКФ теряет симметрию, и при некотором значении Δt ($R_3(t)$) в ВКФ разделяются два локальных максимума, каждый из которых определяет положение отдельных сигналов во времени. Расстояние между пиками характеризует величину задержки между импульсами.

Когда задержка мала, определить однозначное положение пиков КФ не представляется возможным ($R_2(t)$). В этом случае

необходимо использование косвенной оценки несимметрии ВКФ: значение Δt может быть определено по изменению положения «центра тяжести» огибающей мощности ВКФ (t_{C1}, t_{C2}, t_{C3}). При моделировании была получена зависимость t_C от Δt . Данная зависимость линейна, а, следовательно, рассчитав положение «центра тяжести», можно определить и задержку сигнала.

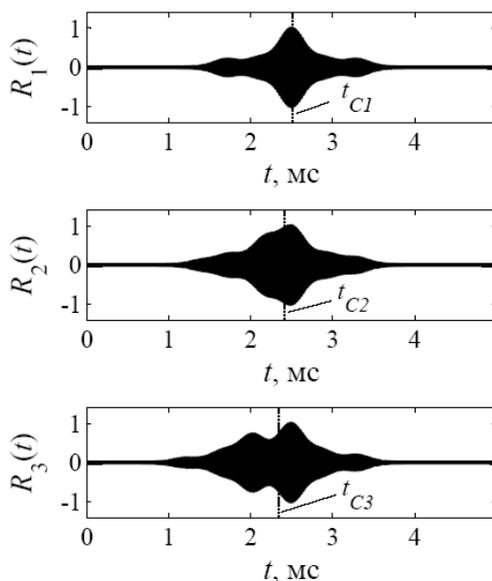


Рис. 1. Форма ВКФ при различных значениях задержки импульсов

Данный алгоритм применим при УЗ измерении скорости воздушного потока. На рисунке 2 показана схема лабораторного стенда. Блок приемо-передающего устройства (ППУ) выполняет генерацию УЗ импульсов длительности 1 мс и их приём на основе ПЛИС [2]. Ультразвуковые преобразователи (УЗП) работают на частоте 40 кГц. При проведении опытов были использованы: промышленный вентилятор Dospel WK200 (В) номинальной частоты вращения 2430 об/мин и производительности 1200 м³/ч; цифровой фототахометр DT2234В (ФТ), для калибровки скорости вращения.

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Частота вращения вентилятора регулировалась симисторным регулятором (Р).

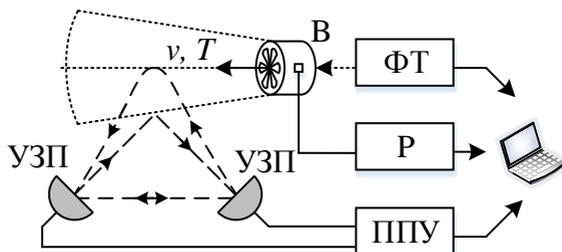


Рис. 2. Лабораторная установка и траектории распространения УЗ лучей

Расчет задержек производили для разных значений частоты вращения вентилятора при анализе 200 импульсов. Полученная зависимость задержки между прямым и отраженным сигналами от скорости вращения вентилятора близка к линейной, рис. 3.

Изменение относительной задержки связано с увеличением длины отраженного (или испытывающего рефракцию) луча при изменении профиля скорости потока [4]. Так как полученная зависимость близка к линейной, имеет место возможность контроля относительного изменения скоростей потоков газов с помощью УЗ измерений. Сравнение задержек прямого и отраженного сигнала при распространении по- и против потока (рис. 2) дает количественную оценку скорости воздушного потока. По результатам обработки экспериментальных данных разница в задержке между УЗ импульсами при разной скорости потока составила примерно 3-5 мкс. Данные значения соответствуют скорости потока, равной примерно единицам м/с, что отвечает параметрам производительности вентилятора. Измеренная задержка по величине меньше 1/5 периода УЗ волны. В условиях высокой турбулентности и неоднородности воздушного потока такое временное разрешение можно считать достаточно высоким.

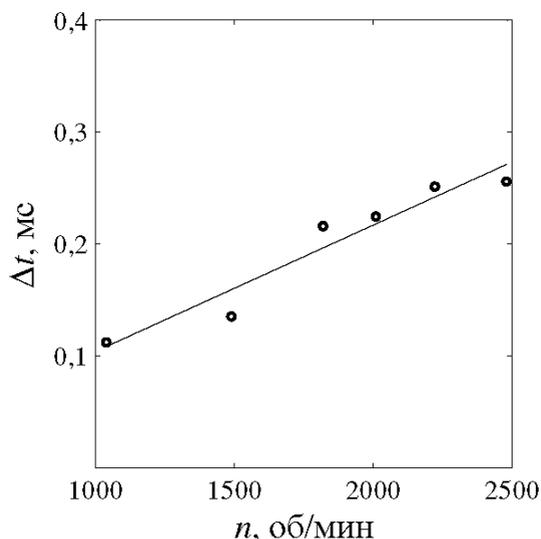


Рис. 3. Зависимость относительной задержки от частоты вращения вентилятора

Заключение. Предложенный алгоритм дает возможность существенно повысить разрешение УЗ прибора в условиях пространственно-временной неоднородности газовой среды.

Список литературы

1. *Костюков А.С., Никандров М.В., Славутский Л.А.* Изменчивость случайной погрешности ультразвуковых импульсных и доплеровских измерений в неоднородной среде // *Нелинейный мир*. 2009. Т. 7. № 9. С. 700 – 705.
2. *Бычкова И.Ю., Бычков А.В., Славутский Л.А.* Импульсный ультразвуковой контроль стратификации воздуха над нагретой поверхностью // *Вестник Чувашского университета*. 2016. № 1. С. 39 – 46.
3. *Barker R.H.* Group synchronizing of binary digital sequences. *Communication theory*. London: Butterworth. 1953. pp. 373 – 287.
4. *Бреховских Л.М., Годин О.А.* Акустика слоистых сред. М.: Наука, 1989. 320 с.

**DIGITAL FORMATION AND PROCESSING
OF PULSE ULTRASOUND SIGNALS IN CONTROL
OF INHOMOGENEOUS GAS MEDIUM**

Bychkova I.

Supervisor: L. Slavutskiy,
doctor of physics and mathematical sciences, professor
(*Chuvash State University, Cheboksary*)

The algorithm for processing of pulsed ultrasonic signals based on integral estimation of the correlation function form is proposed. The calculation method allows the high resolution measurements of the small delay between the pulses arriving at the receiver at different trajectories of propagation in an inhomogeneous medium. Experimental measurements were carried out at the scattering of ultrasound in a non-uniform air flow.

УДК 611.127

ВЫЯВЛЕНИЕ НАРУШЕНИЙ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ПРОЯВЛЕНИЯХ БИГЕМИНИИ И ТРИГЕМИНИИ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Вафин А., Якупов Р.

Научный руководитель: Т.Ф. Щербакова, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе рассматриваются метод анализа электрокардиосигнала (ЭКС) для определения аритмий. Описан выбор спектральных параметров для различения «нормальных» и «паталогических» QRS-комплексов электрокардиосигнала. Приведены примеры построенных спектров различных QRS-комплексов реальных сигналов.

Проблемы, связанные с сердечнососудистыми заболеваниями, всегда носили злободневный характер, также и сейчас они являются одной из главных причин смертности людей в России. В связи с этим все большую актуальность приобретают задачи поиска и разработки высокоэффективных методов диагностики состояния сердца.

Благодаря развитию систем, у нас есть возможность разработать концептуально новые медико-диагностические приборы, спроектировать системы связи для беспроводной передачи данных и проанализировать состояние сердца, оперируя основными параметрами ЭКГ сигналов.

В данной работе рассматриваются сигналы здоровых людей и людей, у которых выявлено нарушение сердечного ритма, а именно нарушение морфологии QRS-комплекса, называемое - экстрасистолой. В результате были проведены исследования на основе спектрального анализа.

Бигеминией называется нарушение сердечного ритма, когда экстрасистолы регистрируются регулярно за каждым циклом основного ритма, то есть фиксируется чередование, например, синусовых и экстрасистолических циклов в соотношении 1:1.

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Тригеминия наблюдается в двух проявлениях:

- Экстрасистола следует регулярно после двух циклов основного ритма, при этом многократно повторяясь. В данном случае чередование синусовых и экстрасистолических циклов фиксируется в отношении 2:1.

- Две парные экстрасистолы, которые идут подряд за одним циклом основного ритма. В данном случае соотношение синусовых и экстрасистолических циклов составляет 1:2. Парная экстрасистолия считается и оценивается, как более тяжелая патология нарушения ритма.

В качестве источника ЭКГ сигналов использовалась база данных ресурса Physionet[1]. Были рассмотрены записи первых стандартных отведений ЭКГ сигналов с частотой дискретизации 257 Гц и использованы 10 записей длительностью 300 секунд. Реализуя алгоритм быстрого преобразования Фурье, вычислялся спектр участка сигнала, сглаженного оконной функцией Чебышева и содержащего QRS-комплекс. Проведя эти операции, появляется возможность сравнения спектров QRS-комплексов здорового человека и спектры QRS-комплексов пациентов, страдающих бигеминией и тригеминией. Сравнение нормального ЭКГ сигнала и ЭКГ сигнала с патологией будет проводиться посредством спектрального анализа. Построив и проанализировав графики отношения ВЧ и НЧ компонентов для различных QRS-комплексов, можно определить порог принятия решения для выявления у пациентов бигеминии и тригеминии.

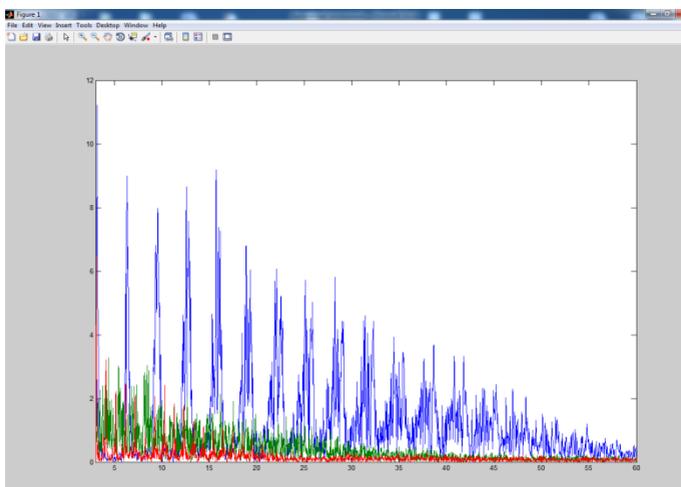
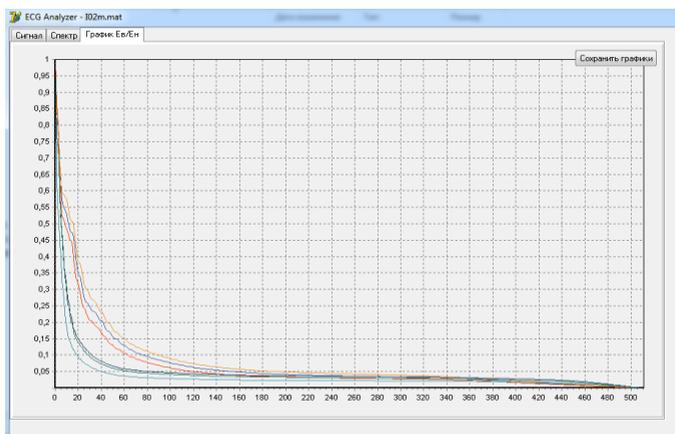


Рис. 1. Спектры различных сигналов

На рисунке 1 проиллюстрированы спектры трех ЭКГ сигналов, а именно, синим цветом, показан спектр ЭКГ сигнала здорового человека; зеленым цветом – спектр ЭКГ сигнала человека, страдающего тригеминией; красным цветом – спектр ЭКГ сигнала человека, страдающего бигеминией.



СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Рис. 2. Отношение ВЧ/НЧ спектров для здоровых людей
и людей с патологией тригеминии

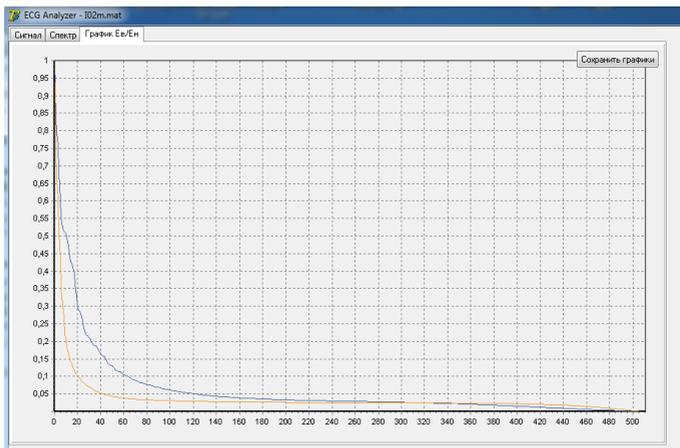


Рис. 3. Усредненное значение отношения ВЧ/НЧ для того же случая

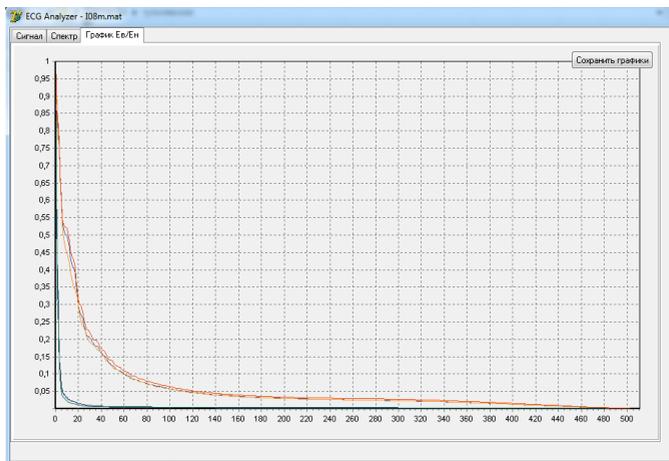


Рис. 4. Отношение ВЧ/НЧ спектров для здоровых людей
и людей с патологией бигеминии

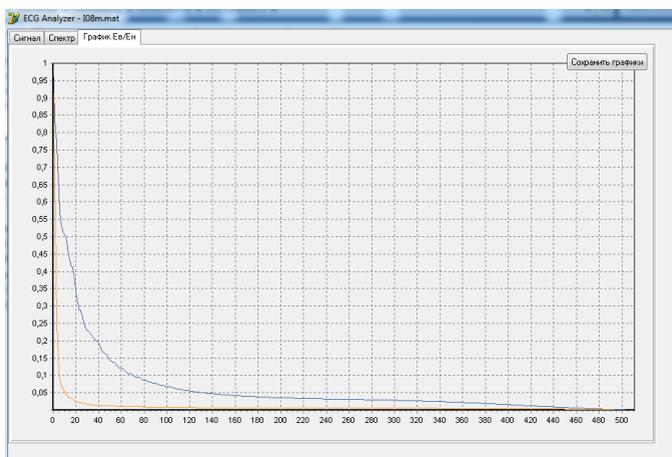


Рис. 5. Усредненное значение отношения ВЧ/НЧ для случая сравнения тригеминии и нормального сердечного ритма

Список литературы

1. Щербакова Т.Ф. Выбор протокола и разработка алгоритма передачи электрокардиосигнала и его параметров / Т.Ф. Щербакова, А.В. Уланов //Проблемы техники и технологии телекоммуникаций: материалы XV Междунар. науч.-техн.конф.-Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2014. – С. 196–198.

2. Belyavin Changes in electrical activity of the brain with vigilance / Belyavin and Wright // Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. – 1987. – С. 137–144.

DETERMINATION OF HEART RHYTHM'S ABNORMALITIES IN BIGENIMY AND TREGINIMY BY THE SPECTRAL ANALYSIS

Vafin A., Yakupov R.

Supervisor: T. Scherbakova, c.t.s., associate professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N.Tupolev – KAI, Kazan)

*СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ*

The article presents an electrocardiogram signal analysis method for use in portable arrhythmia detectors. The selection of spectrum values for differentiating between normal and abnormal QRS complexes of the electrocardiogram signal is describe. Sample spectra for various QRS complexes of real life signals are given.

УДК 621.317+53.082

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ БОТОВОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Галявиев Б.А.

Научный руководитель: Д.В. Шахтурин, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В докладе рассматривается разработка системы автоматизированной проверки целостности и наличия связи (короткого замыкания) цепи с остальными цепями, измерения сопротивления цепи и сопротивления изоляции бортовой кабельной сети, обеспечивающая формирование испытательных сигналов, регистрацию и визуальное представление результатов измерения.

Современное радиотехническое оборудование летательных аппаратов представляет собой сложные многокомпонентные комплексы, включающие множество систем, устройств, блоков и модулей. Одной из таких систем является бортовая кабельная сеть (БКС), которая выполняет связующую функцию между бортовыми системами, устройствами и блоками, обеспечивая электропитание, передачу информации и управляющих команд. Большое количество ошибок и аварий при летных испытаниях и эксплуатации летательных аппаратов приходится именно на дефекты БКС [1]. Поэтому необходимо иметь качественные современные системы, позволяющие проверить качество монтажа непосредственно при производстве, техническом обслуживании или ремонте.

Таким образом, очевидна актуальность создания автоматизированной системы контроля и тестирования бортовой кабельной сети летательного аппарата.

В данной работе рассматривается вариант построения системы автоматизированной проверки целостности и наличия связи (короткого замыкания) цепи с остальными цепями, измерения сопротивления цепи и сопротивления изоляции бортовой кабельной

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

сети. Методика испытания и нормативные значения диагностируемых параметров приведены в [2].

Структурная схема автоматизированной системы контроля и тестирования бортовой кабельной сети летательного аппарата, представленная на рисунке 1, включает персональный компьютер (ПК), устройство ввода/вывода (УВВ), устройство измерения сопротивлений (УИС), коммутационные блоки (КБ1 и КБ2), бортовую кабельную сеть (БКС).

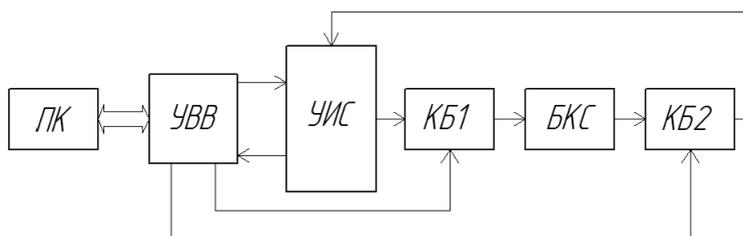


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы контроля и тестирования бортовой кабельной сети летательного аппарата

Система осуществляет формирование испытательных сигналов и регистрацию измерительных данных. Управление системой, а также сбор, обработка и визуальное представление результатов измерения осуществляются персональным компьютером, с использованием разработанного программного обеспечения. Система, включает следующие основные блоки. Устройство измерения сопротивлений (УИС), которое проводит все измерения и формирует испытательное напряжение переменного и постоянного тока, подаваемое на объект контроля. Коммутационные блоки (КБ1 и КБ2), обеспечивающие коммутацию УИС на проверяемый канал и автоматизацию проверок. В зависимости от выбранного режима работы КБ1 и КБ2 могут работать как синхронно, так и независимо друг от друга. Устройство ввода/вывода (УВВ), выполняющее функцию информационно-технического взаимодействия с персональным компьютером (ПК). УВВ по команде ПК конфигурирует измерительные каналы, осуществляет аналого-цифровое преобразование измерительных сигналов и формирует управляющие сигналы (по

цифровым линиям) в соответствии с выбранным режимом работы системы.

Разработанная автоматизированная система контроля и тестирования бортовой кабельной сети летательного аппарата представляет собой многоканальную измерительную систему с программно-управляемой структурой измерительных каналов на основе устройств сбора данных (многофункциональных плат ввода/вывода) компании National Instruments.

Программное обеспечение разработано в графической среде программирования NI LabVIEW [3, 4]. Программное обеспечение предоставляет оператору возможность проводить следующие основные операции:

- установка и просмотр исходных параметров системы;
- корректировка параметров системы в процессе работы;
- тестирование и контроль функционирования бортовой кабельной сети;
- инициализация измерений, прием измеренных данных, визуальный контроль данных и формирование отчета по результатам проверки;
- передачу накопленных данных в персональный компьютер.

Измерение диагностических параметров (тока, напряжений и сопротивления цепи), осуществляется как в ручном, так и в автоматизированном режимах.

Разработанная система позволяет измерить сопротивление цепи и сопротивление изоляции бортовой кабельной сети; устанавливать значения испытательного напряжения для режима проверки сопротивления изоляции; устанавливать вид испытательного напряжения (постоянного или переменного тока), значения испытательного напряжения, значения времени испытания (проверки) для режима проверки электрической прочности изоляции.

Использование данной системы в значительной степени облегчает контроль и тестирование бортовой кабельной сети летательного аппарата в процессе монтажа, технического обслуживания и ремонта, что повышает эффективность труда работников и безопасность.

**СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ**

Список литературы

1. Электрооборудование летательных аппаратов: учеб. для вузов: в 2 т. / С.А. Грузков, С.Ю. Останин, А.М. Сугробов [и др.]; под ред. С.А. Грузкова. – М.: Издательство МЭИ, 2005-2008. – 2 т.
2. ГОСТ Р 50571.16-2007. Электроустановки низковольтные. Часть 6. Испытания. – Введ. 2009-01-01; Взамен ГОСТ Р 50571.16-99. – М.: Стандартиформ, 2012. – III, 28 с
3. *Евдокимов Ю.К.* Автоматизированный сбор и цифровая обработка данных в измерительных системах: учебное пособие / Ю.К. Евдокимов, Е.С. Денисов, Д.В. Шахтурин [и др.]. – Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2012. – 163 с.
4. *Евдокимов Ю.К.* LabVIEW в научных исследованиях: учеб. пособие для студ. вузов / Ю.К. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 400 с.

**AUTOMATED BOARD AIRCRAFT CABLE
NETWORK DIAGNOSTICS SYSTEM**

Galyaviev B.

Supervisor: D. Shakhurin, Ph.D. (Eng.)

(National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

The report deals with the development of automated integrity and connection availability (short circuit) for a circuit with other circuits, circuit resistance measurement and insulation resistance of onboard cable network test system, which ensures the formation of the test signals, recording and visual representation of the measurement results.

УДК 621.372.85

ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Герасимов А.Г., Романова А.С.

Научный руководитель: Д.В. Самигуллин, канд. биол. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В статье проведен анализ показателей эффективности биологической лаборатории в техническом университете. Используя непараметрические критерии, показана существенность отличия эффективности данной лаборатории относительно соседних технических подразделений.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 17 октября 2006 г. N 613 "О федеральной целевой программе "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 - 2012 годы" [1] 1-го декабря 2012 года в рамках Соглашения о сотрудничестве между Казанским научным центром РАН и ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева - КАИ» от 14 мая 2010 г. был заключен договор о создании совместной лаборатории [2]. Согласно договору стороны обязались сотрудничать в области осуществления научно-исследовательской и образовательной деятельности. Сотрудничество включало в себя создание совместной научной лаборатории «Механизмы передачи информации в живых системах» на базе КИББ КазНЦ РАН (лаборатория биофизики синаптических процессов, руководитель академик РАН Е.Е.Никольский) и КНИТУ-КАИ (НИИ Прикладной электродинамики, фотоники и живых систем (НИИ ПРЭФЖС) КНИТУ-КАИ, руководитель д.т.н., профессор О.Г. Морозов).

Целями создаваемой лаборатории являлись:

а). Проведение научных исследований по изучению механизмов передачи информации в живых системах, молекулярных механизмов воздействия электромагнитных волн различных диапа-

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

зонов на организм человека и животных, механизмов развития социально значимых заболеваний нервной системы и разработке новых методов их лечения, причин и механизмов развития нарушений функции опорно-двигательного аппарата людей, находившихся в условиях гипогравитации (космические полеты), механизмов терапевтического действия низкоинтенсивных лазеров для стимуляции процессов регенерации нервной ткани.

б). Разработка современных методов анализа медико-биологической информации, совершенствование существующих методов анализа видеоизображений, создание современного оборудования, необходимого для внедрения в практику новых технологий исследования живых систем (наноманипуляторы, наноинъекторы, усилители, предназначенные для регистрации слабых электрических сигналов).

в). Подготовка специалистов, обладающих современными знаниями в области нейронаук для их эффективного включения в состав научно-исследовательских групп, работающих в области исследования живых систем.

г). Коммерциализация разрабатываемых технологий в различных сферах хозяйственной деятельности.

На этапе своего становления Лаборатория базировалась на площадях КазНЦ РАН. Это дало возможность эффективно использовать потенциал лаборатории биофизики синаптических процессов КИББ КазНЦ РАН, оснащенной современным оборудованием, позволяющим реализовать различные методы получения информации от живых систем, визуализировать отдельные клетки и субклеточные структуры с применением самых современных типов микроскопов (включая лазерный сканирующий микроскоп), знания и опыт сотрудников лаборатории, владеющих различными клеточными технологиями, дающими возможность в модельных условиях изучать процессы передачи информации в нервной системе, исследовать процессы формирования нервных сетей, механизмы, обеспечивающие высокий уровень надежности передачи информации между отдельными клетками.

Создание лаборатории потребовало использования научного оборудования как института биохимии и биофизики КазНЦ РАН,

так и, оборудования НИИ ПРЭФЖС, был создан целый комплекс для научных изысканий. В целях реализации данного Договора в КНИТУ-КАИ был создан отдел междисциплинарной межведомственной лаборатории.

В настоящее время, на базе вышеуказанной лаборатории студенты и магистранты НИИ ПРЭФЖС КНИТУ-КАИ осуществляют учебную и научную деятельность. Так, там проходят занятия по дисциплинам: «Биофотоника», «Техническая фотоника живых систем» и «Метрологическое обеспечение информационных и электродинамических процессов в живых системах». В дальнейшем в структуре НИИ ПРЭФЖС был создан НОЦ «Техническая электродинамика, фотоника и живые системы».

На базе лаборатории были защищены десятки магистерских диссертаций в рамках направления магистерской подготовки «Техническая электродинамика и фотоника живых систем». По материалам этих работ издано свыше полутора десятка научных статей [4–16], в том числе и в журналах базы «Scopus» [7–14]. Отдельно следует отметить печатные работы на грани биологических и технических наук [15, 16] и монографии [17, 18].

В 2012-2013-м учебном году в лаборатории проходили обучение три соискателя магистерской ученой степени, в 2013-2014-м – шесть соискателей, в 2014-2015-м году – четыре, в следующем – пять и т.д. Порядка трети выпускников, обучающихся в лаборатории, продолжают свою научно-исследовательскую деятельность, будучи аспирантами. Были успешно защищены докторская и кандидатские диссертации по биологии.

На описываемую биологическую структуру в техническом вузе были получены трехлетние инициативные гранты РФФИ и тревел-грант «Алгарыш» на стажировку группы магистрантов и аспирантов в Техническом университете г. Ильменау (ФРГ).

Нами оценивалось, насколько эффективна биологическая лаборатория со времени ее создания относительно соседних чисто технических лабораторий в техническом университете. Использовался критерий знаков – определение направленности изменений в каждой паре наблюдений. Затем подсчитывалось число парных наблюдений, давших положительные и отрицательные разности.

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

По результатам сравнения показателей имеется 7 плюсов (показателей, повышенных относительно технических), 0 минусов (пониженных) и 3 нулевых разности. Существенность показателей биологической лаборатории проверяли при уровне значимости $p = 0.05$. Нашли наблюдаемое значение критерия – как большее число однозначных разностей – в нашем случае: $Z_{\text{набл}} = 7$. По стандартной таблице критических значений критерия знаков для заданного уровня значимости $p = 0.05$ и числа степеней свободы $f = 7 + 0 = 7$ (наблюдения, имеющие нулевые разности из расчета исключаются) определили: $Z_{\text{кр}} = 7$. Известно, что если $Z_{\text{набл}} \geq Z_{\text{кр}}$ – нулевая гипотеза отвергается, то есть обнаруженные различия существенны, выборки не принадлежат одной генеральной совокупности. Раз это условие выполняется тут, показатели биологической лаборатории существенны.

Таким образом, приведенные совокупные данные говорят о несомненной успешности создания биологической структуры в технической вузе.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 17 октября 2006 г. N 613 "О федеральной целевой программе "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 - 2012 годы"
2. Соглашения о сотрудничестве между КазНЦ РАН и ФГБОУ ВПО «КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ» от 14 мая 2010 г.
3. Договор о сотрудничестве между КНИТУ-КАИ и ВГАФК от 2015 г.
4. *Морозов Г.А. Функционирование скелетных мышц крысы в условиях моделирования невесомости / Морозов Г.А., Сафиуллин Р.С., Еремеев А.А., Гришин С.Н., Морозов О.Г., Никольский Е.Е. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12(33). – № 4(3). – С. 717–721.*
5. *Гришин С.Н. Пуринергическая регуляция синаптической передачи фазных и тонических мышц позвоночных / С.Н. Гришин, О.Г. Морозов, В.И. Анфиногентов, Р.Р. Камалиев, Г.А. Морозов, А.У. Зиганшин // Известия Самарского научного центра Россий-*

ской академии наук. – 2010. – Т. 12(33). – № 4(3). – С. 710–713.

6. Grishin S.N., Kamaliev R.R., Teplov A.Yu., Ziganshin A.U. Opposite effect of ATP on contraction force of tonic and phasic skeletal muscles in frogs / Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2011. Т. 151. № 3. С. 280–283.

7. Mukhamedyarov M.A., Leushina A.V., Zefirov A.L., Teplov A.Y., Grishin S.N., Palotás A. Extraneuronal toxicity of Alzheimer's β -amyloid peptide: comparative study on vertebrate skeletal muscles / Muscle and Nerve. 2011. Т. 43. № 6. С. 872–877.

8. Grishin S.N., Ziganshin A.U. 2013. Modulatory role of purines in neuromuscular transmission. *Biochem. (Mosc.)*. 7 (3), 183–191.

9. Grishin S.N. 2014. Transmembrane calcium current: mechanism, registration procedures, Ca^{2+} -mediated modulators of synaptic transmission. *Biochem. (Mosc.) Suppl. Series A*. 8 (3), 213–224.

10. Grishin S.N., Ziganshin A.U. 2015. Synaptic organization of tonic motor units in vertebrates *Biochemistry (Moscow) Supplement Series A: Membrane and Cell Biology* 9(1): 13–20.

11. Grishin S.N. Neuromuscular transmission in Ca^{2+} -free extracellular solution. *Biochemistry (Moscow) Supplement Series A: Membrane and Cell Biology*. 2016. V. 10 (2). P. 99–108.

12. Хайруллин А.Е., Зиганшин А.У., Гришин С.Н. Функционирование двигательных единиц при различных температурах. Биологические Мембраны. 2016, том 33, № 5, с. 315–322.

13. Эшпай Р.А., Хайруллин А.Е., Каримова Р.Г., Нуриева Л.Р., Ризванов, А.А., Мухамедьяров М.А., Зиганшин А.У., Гришин С.Н. Параметры одиночных и суммированных сокращений скелетных мышц *in vivo* и *in vitro* / Гены & Клетки. 2015. Т. X. № 4. С. 123–126.

14. Ziganshin A.U., Khairullin A.E., Zobov V.V., Ziganshina L.E., Gabdrakhmanov A.I., Ziganshin B.A., Grishin S.N. The effects of ATP and adenosine on neuromuscular transmission in rat soleus muscle at different temperatures. *Muscle and Nerve*. 2016. Jul 22. doi: 10.1002/mus.25263.

15. Эшпай Р.А., Гришин С.Н., Теплов А.Ю., Сафиуллин Р.С., Морозов Г.А., Фархутдинов А.М., Хайруллин А.Е., Морозов О.Г. Одновременная регистрация сокращения различных типов скелет-

*СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ*

ных мышц *in vivo* / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 5-5. С. 1812-1814.

16. *Филимонов А.С., Сафиуллин Р.С., Морозов Г.А., Гришин С.Н., Морозов О.Г.* Корреляция механограммы одиночного сокращения скелетной мышцы крысы в норме и патологии с кривыми переходного процесса многозвенного полосового фильтра / Нелинейный мир. 2013. Т. 11. № 5. С. 323–326.

17. *Гришин С.Н.* 2010. Кальциевый ток. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 90 с.

18. *Гришин С.Н., Зиганшин А.У.* Котрансмиттерная модуляция мионевральной передачи в различных типах двигательных единиц. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2015. – 240 с.

**EFFICIENCY OF BIOLOGICAL LABORATORY
AT THE TECHNICAL UNIVERSITY**

Gerasimov A., Romanova A.

Supervisor: D. Samigullin, PhD, assoc. professor
*(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)*

In article the analysis of indicators of efficiency of biological laboratory at technical university is carried out. Using nonparametric criteria, importance of difference of efficiency of this laboratory of rather next technical divisions is shown.

УДК 621.694.31

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕНТГЕН-ИЗОБРАЖЕНИЙ

Гилязова Г.Н., Слимova В.О.

Научный руководитель: О.В. Шиндор, канд. техн. наук, доцент
(Чистопольский филиал "Восток"

*Казанского национального исследовательского технического
университета им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Чистополь)*

В работе рассматривается возможность анализа рентгеновских изображений на основе вейвлет-преобразования. Вейвлет-преобразование используется для выделения локальных особенностей сигнала и изображений в частности.

Обычно практически любое рентген изображение искажается под действием различных помех, что в свою очередь затрудняет его визуальное восприятие врачом и может помешать постановке верного диагноза или приводит к необходимости пересъемки топограммы. В то же время для повышения качества рентген-изображений возможно применение методов цифровой обработки, которых на данный момент существует достаточно много. Описания подобных методов можно прочесть в работах Бушуева В.А., Сергеева А.А., Данильчука Л.Н. и других [1], [2], [3]. Несмотря на то, что данная тема уже неоднократно исследовалась ранее, до сих пор не существует однозначного мнения относительно наилучшего метода обработки рентген-изображений. Поэтому мы считаем уместным рассмотреть его несколько с иного ракурса. А именно сравнить методы обработки таких изображений с использованием преобразований Фурье и с применением вейвлет-преобразований, а так же выбрать наиболее оптимальный вариант из перечисленных.

Соответственно **целью** данной работы является сравнение обработки рентген-изображений посредством преобразований Фурье и обработки рентген-изображений с использованием вейвлет-преобразований, выявление метода, дающего наилучший результат.

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Для достижения поставленных целей мы ставим перед собой следующие **задачи**:

- 1) Изучение преобразований Фурье и вейвлет-анализа.
- 2) Рассмотрение способов их применения для обработки рентген-изображений.
- 3) Сравнение этих методов и выбор наилучшего из них.

Спектральный анализ позволяет охарактеризовать частотный состав измеряемого сигнала, другими словами он связывает временной или пространственный сигнал с его представлением в частотной области. Для этих целей используются преобразования Фурье, которые делят поступивший сигнал на более мелкие гармонические колебания с различными частотами. Оно осуществляются по следующей формуле:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y(x) \exp(-i\omega x) dx$$

Преобразование Фурье является комплексной величиной, а элементарные колебания, получающиеся в результате разложения, называются комплексными синусоидами(экспонентами) колебания. Поведение каждой экспоненты можно определить с помощью коэффициентов Фурье, сумма которых и будет отражать поведение сигнала за время его существования.

$$f(t) \sim \sum_n c_n e^{itn}$$

Если изобразить эту функцию графически, отложив по оси абсцисс частоту, а по оси ординат- амплитуду, то мы получим отрезки, соответствующие частоте колебаний, которые и будут являться амплитудным спектром суммарного колебания в линейчатом виде.

Спектральный анализ хорошо подходит для подробного изучения характера сигнала за все время его существования, но он имеет свои недостатки. Этот метод не подходит для выявления локальных изменений в сигнале. Это связано с эффектом растекания спектра. Преобразование Фурье сопоставляет непрерывной во времени, бесконечной функции другую, непрерывную по частоте, бесконечную функцию. Но чаще всего имеется только дискретная по

времени часть функции. Тогда мы полагаем, что взяли какую-то часть бесконечного сигнала, дополняя имеющийся сигнал нулевым. Другими словами, имея исследуемую бесконечную во времени функцию $f(t)$, мы умножаем ее на некоторую оконную функцию $w(t)$, которая обращается в ноль везде, кроме интересующего нас интервала времени. То есть мы рассматриваем не спектр исходной функции $f(t)$, а его произведение на оконную функцию $w(t)$. Эта операция называется свёрткой двух спектров, в результате которой мы получаем эффект растекания спектра.

По сравнению с преобразованиями Фурье, результаты вейвлет-анализа содержат сведения и о локальных координатах, на которых происходят быстрые изменения частотных составляющих сигнала. К тому же вейвлеты способны с более высокой точностью представлять локальные особенности сигналов. Еще одним достоинством вейвлет-анализа является то, что частота и координата считаются независимыми переменными, а это дает возможность анализа сигналов сразу в двух пространствах. Понятие частоты спектрального анализа здесь заменено масштабом и при выделении в сигналах локализованных разномасштабных процессов можно рассматривать только те масштабные уровни, которые представляют особый интерес. Таким образом, вейвлет-преобразования дают больше информации о спектральном распределении сигнала во времени по сравнению с преобразованиями Фурье.

Рассмотрим применение Фурье-фильтрации для улучшения качества рентген-изображений. Алгоритм фурье-фильтрации предполагает использование дискретного преобразования Фурье, коррекцию его коэффициентов и восстановление изображения обратным дискретным преобразованием.[4]. Отфильтрованное изображение содержит большинство основных признаков исходного изображения, позволяющих достаточно надежно идентифицировать дефекты, однако из-за наличия резких границ восстановленные изображения содержат множество шумов. Постепенное увеличение ширины области размытия границ приводит к их постепенному исчезновению.

Рассмотрим подробнее возможности применения вейвлетов для обработки изображений. Подавление шума цифровых изобра-

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

жений с помощью быстрых дискретных вейвлет-преобразований позволяет добиться высоких показателей качества не только в плане соотношения сигнала и шума, но и в плане визуального восприятия полученных изображений. Основным алгоритм шумоподавления таким способ включает в себя следующие этапы:

- Разложение сигнала по базису вейвлетов.
- Выбор порогового значения шума для каждого уровня разложения.
- Пороговая фильтрация коэффициентов детализации.
- Реконструкция сигнала.

Чаще всего подавление шума изображений применяют для улучшения визуального восприятия, но оно также может быть использовано для таких целей, как увеличение четкости рентгеновских снимков. В последнем случае задачи шумоподавления и подъема контраста будет правильнее рассматривать совместно. Такая идея подразумевает подвергать мягкому пороговому усечению мелкомасштабные коэффициенты верхних уровней, что позволит значительно подавить шум, и применять комбинацию нелинейных операторов жесткого порогового усечения и подъема контраста на средних и низких уровнях, благодаря чему усилятся особенности изображения и в то же время не будут появляться искажения. Такой результат достигается благодаря тому, что исходное рентген-изображение с Пуассоновским распределением шума подвергают гамма-коррекции для аппроксимации шума.

К тому же, в отличие от обработки рентген-изображений с помощью Фурье-преобразований, обработка рентгеновский изображений с использованием вейвлет-преобразований способна подавить шум и увеличить контраст топограмм в случае неравномерного распределения шума по снимку. Такое отличие возникает из-за того, что в преобразованиях Фурье используется тригонометрический базис, а в вейвлет-преобразованиях разнообразные короткие функции различного вида.

Таким образом, исходя из вышеперечисленного анализа мы пришли к выводу, что применение вейвлет-преобразований для обработки рентген-изображений является более перспективным направлением, так как такой метод способен решать те проблемы и

задачи, которые невозможно или слишком сложно решить применением преобразований Фурье.

Список литературы

1. Бушуев В.А., Сергеев А.А. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2000. № 9. С. 48. 2.
2. Бушуев В.А., Сергеев А.А. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2003. № 1. С. 52
3. Ткаль В.А., Дзюба И.В., Данильчук Л.Н. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2009. № 10. С. 59.
4. *Danilchuk L., Okunev A., Tkal V.* XRay Topography on the Base of Bormann Effect. Saarbrucken: LAP LAMBERT, 2012. 348 p.

WAVELET TRANSFORM APPLICATION FOR X-RAY IMAGE PROCESSING

Gilyazova G., Slimova V.

Supervisor: O. Shindor, PhD in Engineering, associate professor
(*Chistopol Branch Vostok of Kazan National Research
Technical University named after A.N. Tupolev, Chistopol*)

The paper deals with the possibility of analyzing X-ray images based on the wavelet transform. The wavelet transform is used to isolate local signal features and images in particular.

УДК 378.147.88, 004.9

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ДИСТАНЦИОННОГО СПОСОБА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СТУДЕНТА

Гущин И.А.

Научный руководитель В.А. Козлов, канд. техн. наук, доцент
*(Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Целью работы является максимально объективное выявление достоинств и недостатков дистанционного и традиционного методов выполнения лабораторных работ. Представлены достоинства и недостатки дистанционного метода и пожелания к усовершенствованию существующей системы.

На кафедре РИИТ КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева в течение ряда последних лет проводится работа по внедрению в учебный процесс технологии дистанционного выполнения лабораторных работ [1].

Целью данного исследования было сопоставление достоинств и недостатков двух способов выполнения лабораторных работ по общетехническим дисциплинам: традиционного, когда студент работает в лаборатории под руководством преподавателя вместе с однокурсниками, и дистанционного, когда студент выполняет лабораторную работу дома индивидуально. Подобные работы проводились и ранее [2]. Но в данном случае оценка дается с точки зрения студента.

Автор данного исследования для формирования собственного мнения относительно достоинств и недостатков методики дистанционного выполнения лабораторных работ выполнил несколько лабораторных работ по дисциплинам "Основы теории цепей" и "Радиотехнические цепи и сигналы" и традиционным способом, в лаборатории, и дистанционным способом. При этом тщательно фиксировались положительные моменты дистанционного выполнения лабораторных работ, и проблемы, возникающие при этом.

Внедряемый вариант дистанционного метода выполнения лабораторных работ на данный момент для студента выглядит несколько непривычно и ощущается несовершенство используемых методики и организации, однако это компенсируется рядом положительных моментов. Новая методика представляется очень гибкой, однако, студенту приходится справляться с вопросами, возникающими в ходе освоения совершенно молодой технологии. Причем, трудности могут быть непреодолимыми, в случае, когда ошибка допускается разработчиком новой методики.

Плюсы в выполнении работ на макетах заключаются, в основном, в том, что при возникновении вопроса преподаватель сразу ответит на него. Но, главным минусом традиционного метода является ограниченность во времени выполнения работы. Часто студенты не успевают выполнить работу полностью, из-за чего могут копиться долги.

К числу достоинств дистанционного варианта перед традиционным методом можно отнести следующее:

– дистанционная схема позволяет выполнять работу в любое время, возможно так же проведение всей работы в несколько сеансов. Студент может самостоятельно выбирать последовательность выполнения лабораторных работ и темп их выполнения;

– большим плюсом является то, что студент, добросовестно проделавший работу, лучше усваивает материал, т.к. он самостоятельно разбирал все задания и вопросы, возникающие в ходе выполнения работы;

– такой метод выполнения лабораторных работ дает опыт самообразования, который очень важен в дальнейшем обучении;

– для некоторых студентов самостоятельное решение предпочтительнее. В интернете больше информации и, если студент не поймет с первого раза, он может поискать в другом месте.

К числу проблемных аспектов дистанционного метода можно отнести следующие моменты:

– выполнение лабораторной работы по дистанционной схеме требует от студента большей четкости и самоорганизации, чем при выполнении ее в лаборатории. Ведь здесь ему некому помочь в случае возникновения каких-то затруднений;

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

– не все студенты имеют доступ к инструментам для выполнения работы (компьютер и интернет), так, например, некоторые иностранные и иногородние студенты не имеют ноутбуков, что сильно осложняет выполнение работы;

ответы из различных источников на вопросы, возникающие в процессе выполнения работы, не всегда представлены в доступной для понимания форме;

– сама система дистанционного образования еще очень недоработана и требует большого количества правок. Например, желательно провести некоторые поправки в методических пособиях, исправить ошибки программного обеспечения, ужесточить контроль работы студентов и т.д. Большое количество недочетов в организации дистанционной работы может потребовать большего времени на доброкачественное ее выполнение, т.к. затрачивается дополнительное время на решение проблем с преподавателем либо с разработчиками дистанционной лабораторной работы;

– ввиду отсутствия контроля выполнения работы студенты могут недобросовестно выполнить работу, прибегнув к обходным путям.

В процессе дальнейшей работы по совершенствованию техники и методики дистанционного варианта выполнения лабораторных работ с точки зрения студента желательно следующее:

– уже на первом курсе предусмотреть лабораторную работу по ознакомлению студентов с программным обеспечением и методикой системы дистанционного выполнения лабораторных работ для плавного освоения всех деталей;

– необходимо усилить контроль выполнения лабораторной работы на программном уровне, к примеру, установить ряд контрольных результатов, которые обязательно должны быть получены студентом в ходе работы;

– разнообразить списки тестовых вопросов;

– организовать ежегодный набор среди студентов активистов для тестирования и сбора статистики по всему парку дистанционных работ, либо организовать бета тестирование квалифицированными специалистами из числа преподавателей. Это поможет оперативно вносить исправления в материал, подаваемый студентам.

Подводя итоги, можно сказать, что полученный опыт работы с программным обеспечением дистанционной лаборатории и самим методом дистанционного выполнения лабораторных работ может создать негативное впечатление. Однако при последующих обращениях к дистанционной лаборатории по мере знакомства с ее программным обеспечением и накоплением опыта, начинаешь видеть больше положительных моментов, нежели отрицательных. Очевидно, этот способ выполнения лабораторных работ нужно развивать и совершенствовать.

Список литературы

1. Евдокимов Ю.К., Кирсанов А.Ю. Организация типовой дистанционной автоматизированной лаборатории с использованием LabVIEW-технологий в техническом вузе. // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabVIEW и технологии National Instruments». Москва, Россия. 14–15 ноября, 2003. – С. 15–17.
2. Салахова А.Ш., Козлов В.А. "Организация и методика проведения дистанционных лабораторных работ по общепрофессиональным техническим дисциплинам"// Открытое образование. – 2014 – № 5. – С. 74–79.

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF REMOTE METHOD OF LABORATORY WORK FROM THE PERSPECTIVE OF A STUDENT

Gushchin I.

Scientific supervisor V. Kozlov, Ph. D., associate Professor
(Kazan National Research Technical
University. A. N. Tupolev-KAI, Kazan)

The aim of this work is as objective as possible identification of the advantages and disadvantages of distance and traditional methods of laboratory work. The advantages and disadvantages of the remote method and suggestions to improve the existing system.

УДК 611.127

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЗДНИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА ПО I СТАНДАРТНОМУ ОТВЕДЕНИЮ

Зарипов Б.А., Мухаметзянов О.А.

Научный руководитель: С.С. Седов, доцент
*(Казанский национальный исследовательский технический
университет имени А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)*

В этой статье мы исследуем явление поздних потенциалов желудочков сердца методом спектрального анализа. Данный способ анализа открывает перспективы в области исследования аритмий сердца.

Нельзя не отметить факт, что в современности научно-технический прогресс (НТП) является основной составляющей развития человеческой цивилизации. Развитие в научной среде затронуло множество областей жизни социума, например, медицину. Одни исследования человеческого сердца чего стоят, допустим:

- Электрокардиография – методика исследований сигналов сердца.

- Рассмотрения аритмий, сердечных ритмов.

Всё это является следствием НТП. А ведь до начала двадцатого века о таком и мечтать не могли.

«К чему это всё?» – спросите вы. Одно из довольно-таки перспективных направлений в области исследований электрокардиограмм (ЭКГ), о которой хотим поведать мы, полагаем, не оставит вас равнодушными. Речь идёт о явлении, именуемым «поздний потенциал желудочков сердца» (ППЖ). Что понимается под этим названием? При помощи компьютерной обработки, точнее, методом электрокардиографии высокого разрешения (ЭКГ-ВР), мы можем зарегистрировать сигналы очень низкой амплитуды, которые, в свою очередь, не видны на ЭКГ. Данного рода сигналы могут находиться в любой части в любой части комплекса сердечного ритма.

Эквивалентностью низкоамплитудных составляющих как раз и являются ППЖ: они располагаются в конце QRS-комплекса, а также возможно их местоположение в области ST-сегмента [2]. Наличие же ППЖ обуславливает повышение вероятности нарушений работы аритмий сердца в несколько раз. Основной целью нашей работы является возможное определение и обнаружение ППЖ на спектре ЭКГ для I стандартного отведения.

Мы рассматриваем сигналы I стандартного отведения ЭКГ из базы РТВ Database сайта <https://www.physionet.org>. В качестве оборудования для обнаружения и регистрации ППЖ используется программный комплекс Казанского Национального Исследовательского Технического Университета – Казанского Авиационного Института (КНИТУ-КАИ) кафедры Радиоэлектронных и Телекоммуникационных систем (РТС).

Наибольший вклад в исследование наличия ППЖ внёс М. Симсон. Именно его метод на данный момент является первостепенным в определении ППЖ. Метод Симсона подразумевает под собой усреднение по отведениям ортогональности X, Y и Z, затем – фильтрация.

С помощью амплитуды вектора ЭДС, равной квадратному корню из сумм квадратов амплитуд усреднённых сигналов по ортогональным составляющим, мы можем определить основные качественные составляющие:

1. Продолжительность фильтрованного QRS-комплекса D_{QRS} . Данный параметр характеризует, насколько ППЖ задерживают окончание QRS-комплекса.
2. LAS – продолжительность низкоамплитудных составляющих ППЖ примерно последних 40 микросекунд фильтрованного QRS-комплекса.
3. RMS – данный параметр характеризует среднеквадратичную амплитуду последних 40 миллисекунд фильтрованного QRS-комплекса [1].

В виду того, что форма фильтрованного QRS-комплекса снятого по трем ортогональным отведениям не идентична форме того же комплекса полученному по I стандартному отведению, нам необходимо рассмотреть задачу определения новых значений ос-

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

новых параметров методов Симсона для сигналов ЭКГ по I отведению.

В качестве нового метода определения наличия или отсутствия ППЖ мы выбираем метод спектрального анализа конца QRS комплекса и одной трети ST сегмента с дальнейшим вычислением отношения высокочастотных составляющих спектра к низкочастотным. [3]

По методу Симсона значения перечисленных выше параметров имеют следующие значения:

$$D_{QRS} > 120 \text{ мс}; LAS > 39 \text{ мс}; RMS < 25 \text{ мкВ} [1]$$

Однако, как следует интерпретировать результаты, если значения D_{QRS} , LAS и RMS близки к пороговым? Собственно, именно для этого нам и необходим спектральный метод анализа: он служит в качестве дополнительного критерия, который позволяет обнаружить ППЖ в случаях, где параметры Симсоновского метода близки к пограничным.

А что же нам требуется? Прежде всего, мы предлагаем ввести коэффициент, который есть не что иное, как отношение среднеквадратичных амплитуд ВЧ-составляющих к НЧ-составляющим, соответственно.

$$K = \frac{\sum_{i=f_n}^n A_i}{\sum_{i=0}^{f_n-1} A_i}$$

Далее мы рассматриваем задачу нахождения наиболее оптимального значения пороговой частоты f_n : такое значение мы найдём при значительных расхождениях коэффициента K для типа ППЖ+ и ППЖ-, соответственно. Для типа ППЖ+ значение коэффициента K будет уменьшаться до наиболее низкоамплитудных значений при более высоких значениях частоты f_n , чем для типа ППЖ-. Это связано с наличием в правой части спектров типа ППЖ+ составляющих с более высокой амплитудой, по сравнению с типом ППЖ-.

Ниже представлена блок схема алгоритма спектрального анализа:

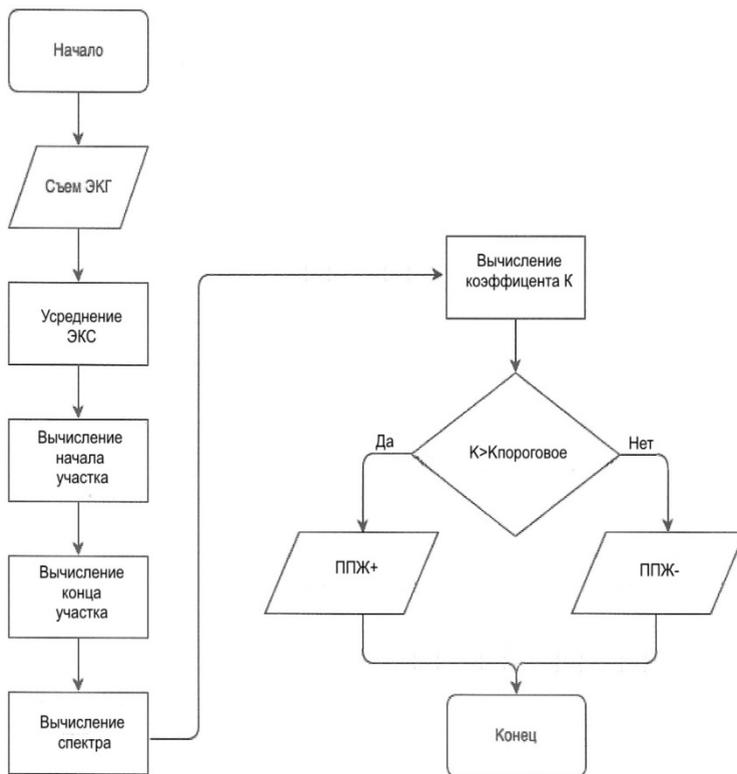


Рис. 1. Блок схема алгоритма спектрального анализа

*СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ*

Величина К для класса
ППЖ-

Таблица 1:

$(f_{п})$ Пациенты	32 Гц	48 Гц	64 Гц
1	0,62	0,54	0,46
2	0,3	0,26	0,22
3	0,46	0,38	0,33
4	0,48	0,4	0,35
5	0,4	0,33	0,28
6	0,47	0,39	0,35
7	0,51	0,42	0,36
8	0,44	0,36	0,32
9	0,54	0,46	0,38
10	0,74	0,6	0,5
11	0,7	0,64	0,61
12	0,5	0,42	0,36
13	0,58	0,48	0,42
14	1,17	0,57	0,48
15	0,6	0,48	0,42
16	0,3	0,26	0,2
17	0,25	0,2	0,15
18	0,42	0,36	0,31
19	0,27	0,23	0,16

Величина К для класса
ППЖ+

Таблица 2:

$(f_{п})$ Пациенты	32 Гц	48 Гц	64 Гц
20	0,31	0,24	0,18
21	0,37	0,3	0,24
22	0,23	0,18	0,15
23	0,46	0,41	0,38
24	0,42	0,35	0,27
25	0,38	0,32	0,24

1	0,67	0,52	0,42
2	0,64	0,55	0,49
3	0,57	0,49	0,41
4	0,67	0,51	0,43
5	0,55	0,47	0,37
6	0,66	0,54	0,45
7	0,99	0,73	0,59
8	0,63	0,43	0,5
9	0,68	0,55	0,46
10	0,51	0,42	0,36
11	0,52	0,41	0,33
12	0,6	0,49	0,45
13	0,77	0,61	0,52
14	0,55	0,43	0,4
15	0,48	0,31	0,35
16	0,95	0,84	0,75
17	0,87	0,76	0,67
18	0,68	0,6	0,55
19	1,2	1,05	0,99

$(f_{п})$ Пациенты	32 Гц	48 Гц	64 Гц
20	0,31	0,24	0,18
21	0,37	0,3	0,24
22	0,23	0,18	0,15
23	0,46	0,41	0,38
24	0,42	0,35	0,27
25	0,38	0,32	0,24
$(f_{п})$	32	48	64

*МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ (ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ)»*

Пациенты	Гц	Гц	Гц
20	0,99	0,91	0,85
21	0,59	0,48	0,44
22	0,65	0,58	0,51
23	0,61	0,54	0,46
24	0,87	0,81	0,74
25	0,79	0,68	0,59

*СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ*

На данный момент при проведенном нами исследовании мы выяснили, что наибольшее расхождение коэффициента К имеется при значении частоты 32 Гц. В дальнейшем мы планируем провести статистическое исследование порога.

Список литературы

1. Клиническая значимость сигнал-усредненной электрокардиографии (по материалам 17-го и 18-го конгрессов Европейского общества кардиологов) // Российские Медицинские Вести. – 1997. – № 1. – С. 42–45.
2. *Акашева Д. У.* Поздние потенциалы желудочков: электрофизиологическая основа, методы регистрации и клиническое значение // Кардиология. – 1991. – 31 № 9. – С. 76–80.
3. *Haberl R., Jilge L., Pulter R. et al.* Spectral mapping of the electrocardiogram with Fourier transform for identification of patients with sustained ventricular tachycardia and coronary artery disease // *Europ. Heart J.* – 1989. – Vol. 10. – P. 316–322.

**SPECTRAL ANALYSIS OF HEART'S VENTRICULAR
LATE POTENTIALS BY THE I STANDARD LEAD**

Zaripov B., Mukhametzyanov O.

Supervisor: S. Sedov, Associate Professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

We are researching the phenomena of heart's ventricular late potentials by the spectral analysis. This method of analysis opens a lot of perspectives in the field of heart arrhythmia's research.

УДК 621.317:615.471

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Киртаев И.А., Пыжова Е.М.

Научный руководитель: Т.Ф. Щербакова,
кандидат технических наук, доцент

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Данная статья посвящена спектральному анализу вариативности сердечного ритма по кардиоинтервалограмме для людей, имеющих брадикардию. В результате такого анализа можно определить момент перехода человека из состояния бодрствования в состояние дремоты.

В современном мире большое распространение получили системы управления, в которой оператор становится непосредственным участником выполнения ее задачи. Именно к таким системам относится система управления транспортным средством.

Актуальность темы настоящей работы определяется тем, что одним из самых опасных факторов «отказов» нормальной работы системы является дремота (засыпание) оператора, в нашем случае водителя. Таким образом, **целью** данной работы является создание системы, контролирующей состояние водителя для предотвращения аварий из-за патологий и состояний, приводящих к утомлению. Исходя из поставленной цели, возникают следующие **задачи**:

- 1) обнаружение момента перехода из бодрствующего состояния в состояние дремоты максимально точно;
- 2) выбор наиболее эффективных методов для решения проблемы.

Контроль над состоянием водителя будем проводить на основе анализа электрокардиографического сигнала (ЭКС), по частоте сердечных сокращений (ЧСС), а также по построению кардиоинтервалограммы (КИГ) и ее спектральному анализу. С точки

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

зрения медицинской терминологии выделяют два основных вида аритмий: тахикардия и брадикардия [1]. В возбужденном состоянии у человека наблюдаются признаки тахикардии ($ЧСС > 100$ уд./мин.), в утомленном состоянии или при засыпании – признаки брадикардии ($ЧСС < 60$ уд./мин.).

В данной работе проведено экспериментальное исследование сигналов ЭКГ людей, имеющих брадикардию. Данные сигналы были получены из базы данных Physionet и рассмотрены на интервале длительностью 5 минут. Для построения кардиоинтервалограммы (КИГ) использовалась программа Kubios HRV. А также была построена гистограмма длительности R-R интервалов спектрального анализа КИГ и рассмотрено отношение LF/HF, позволяющее оценить состояние водителя в данный момент времени.

Отношение LF/HF состоит из низкочастотной (LF) и высокочастотной (HF) составляющих спектра [2]. Низкочастотная составляющая характеризует влияние на сердечный ритм отделов вегетативной нервной системы (ВНС), но в большей степени симпатического отдела. Высокочастотная составляющая связана с дыхательными движениями и характеризует влияние на сердечный ритм парасимпатического отдела ВНС. С физической точки зрения, LF и HF – мощности соответствующих спектральных диапазонов.

Для здорового человека нормальное отношение LF/HF составляет 1.5...2, в случае состояния возбуждения показатель LF/HF > 2 , а при сильном расслаблении – менее 1 [3]. Было сделано предположение, что для людей, страдающих брадикардией, данный порог нормы будет лежать ниже, чем у здорового человека. В ходе проделанной работы, мы убедились в верности этого предположения, но для принятия оптимального решения необходимо провести анализ дополнительных исследований сигналов брадикардии с разным отклонением от нормы для построения многопороговой системы контроля над состоянием водителя.

Мы проанализировали несколько сигналов ЭКС, у пациентов с брадикардией, и построили для них КИГ и их спектры. Примеры спектров приведены на рисунке 1 и 2.

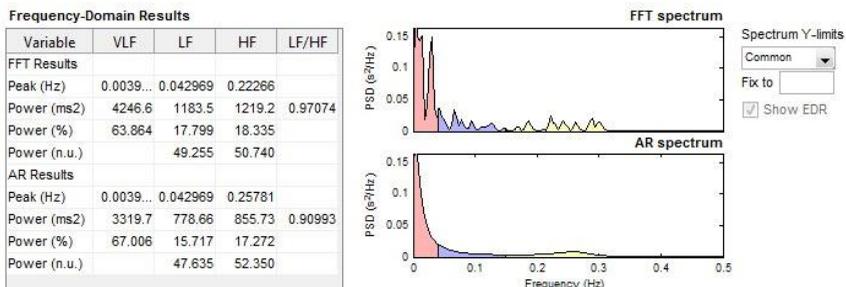


Рис. 1. Спектр БПФ первого пациента с брадикардией

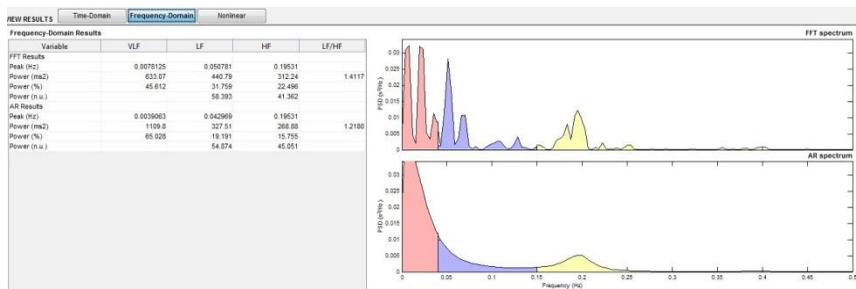


Рис. 2. Спектр БПФ второго пациента с брадикардией

Для этих спектров было найдено отношение LF/HF, которое оказалось менее 1,5, хотя пациенты находились в состоянии бодрствования. Для первого пациента отношение LF/HF=0,97; ЧСС составляет 48 уд./мин. Для второго пациента коэффициент LF/HF=1,41; ЧСС составляет 55 уд./мин. Таким образом, для людей с разной степенью выраженности брадикардии наблюдается различные значения предложенного отношения. Это означает что, могут быть определены несколько пороговых значений отношения LF/HF наступления момента дремоты для людей с различной степенью брадикардии.

Список литературы

1. Яблчанский Н.И., Мартыненко А.В. Вариабельность сердечного ритма. В помощь практическому врачу. Харьков: Основа, 2010. 131 с.

*СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ*

2. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. / Баевский Р.М., [и др.] // Вестник аритмологии 2002. №24 С.65-87

3. The analysis of an electrocardiosignal in a system of data transmission in control office. / T.F. Sherbakova, O.S. Osipova // X Anniversary international conference of antenna theory and techniques ICATT 2015. Kharkiv, Ukraine pp.407-408

4. <http://www.kuban.su/medicine/shtm/baza/konsil/hrv.htm>

5. Variability сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования. Рабочая группа Европейского Кардиологического Общества и Североамериканского общества стимуляции и электрофизиологии.

**USING OF THE SPECTRAL ANALYSIS
OF THE ELECTROCARDIOSIGNAL FOR ESTIMATION
OF THE CONDITION OF VEHICLES DRIVERS**

Kirtaev I., Pyzhova E.

Supervisor: T. Shcherbakova, Candidate of technical sciences, docent
(*Kazan National Research Technical
University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan*)

This paper is devoted to spectral analysis of cardiac rhythm variability according to cardiointervalogram for people with bradycardia. It is shown that as a result of such analysis it is possible to determine the moment of transition of a person from the state of wakefulness to a state of drowsiness.

УДК 535.3

ПАРАМЕТРЫ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРНОГО ДИАМЕТРА СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Курангышев А.В.

Научный руководитель: М.П. Данилаев, докт. техн. наук, профессор, В.А. Куклин, канд. техн. наук, Н.В. Дорогов, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В технологических процессах в процессе измерения характерного размера субмикронных частиц при формировании полимерной оболочки на поверхностях субмикронных частиц возникает необходимость в создании новых эксплуатационно надежных или усовершенствовании существующих оптических схем измерения, которые будут устойчивы к нежелательным вариациям физико-химических свойств частиц в процессе их капсулирования в газовом потоке. Серия проведенных расчетов по теории Ми при таких ограничениях, как однократность рассеяния, отсутствие поглощения светового излучения, диапазон изменения размеров частиц $d=[300..500]$ нм, показал, что целесообразно измерять отношение двух интенсивностей рассеяния под разными малыми углами (5..15 град) на одной длине волны (630 нм). В этом случае в процессе измерения характерного размера частиц схемой обеспечивается учет концентрации, функции распределения частиц по размерам, а также показателя преломления.

В настоящее время при создании наполненных полимерных композиционных материалов (ПКМ) широко применяются различные субмикронные частицы [1]. Введение таких частиц позволяет значительно изменять механические свойства полученного материала по сравнению с исходной матрицей даже при незначительных (единицы процента) концентрациях наполнителя [2]. Однако, воспроизводимость физико-механических свойств ПКМ, наполненных субмикронными частицами, остается низкой. Низкая воспроизводимость свойств таких ПКМ обусловлена несколькими причинами, основной из которых является низкая воспроизводимость структуры ПКМ в результате плохого смачивания частиц наполнителя по-

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

лимерной матрицей [1, 2]. Повысить смачиваемость частиц наполнителя полимерной матрицей, и, как следствие, воспроизводимость физико-механических свойств дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (ДПКМ) возможно за счет формирования на поверхностях частиц переходного, связующего слоя, например, полимерной оболочки.

Разработка технологии формирования полимерной оболочки на поверхностях субмикронных частиц требует создания системы контроля толщины этой оболочки. Следует отметить, что толщина оболочки, также влияет на комплекс физико-механических характеристик ДПКМ.

Целью работы является обоснование параметров оптической схемы измерения, при которых в процессе измерения характерного размера частиц схемой обеспечивается учет влияний концентрации частиц C , показателя преломления n , функции распределения по размерам $f(d)$, а также аппаратных ошибок, влияющих на результаты измерения.

Для контроля толщины оболочки на частицах при капсулировании в реальных технологических процессах используются различные методы измерения размеров частиц. Методы подразделяются на инвазивные и неинвазивные. Использование инвазивных методов измерения, например, микроскопия, требует вмешательства в технологический процесс для отбора проб. Достоинствами такого метода являются его наглядность и простота. Однако при измерении размеров частиц в газовых потоках этот метод применяют редко, поскольку он очень трудоемок и плохо поддается автоматизации.

Наибольшее распространение получили неинвазивные оптические методы, основанные на рассеянии и поглощении световой энергии. Однако в многофазных газовых потоках (МГП) при измерении характерного размера субмикронных частиц с требуемым разрешением такими оптическими методами требуется учитывать влияние концентрации частиц и их функции распределения по размерам, нестабильность показателя преломления в процессе формирования на поверхностях частиц оболочки из другого материала и

т.д. В общем случае, эти изменения и вариации параметров потока связаны со следующими обстоятельствами [3]:

1. Изменение средней концентрации частиц C происходит вследствие осаждения капелек мономера на поверхности субмикронных частиц, за счет гибели частиц всех типов в результате осаждения на стенки канала, а также из-за возможных вылетов через технологические отверстия камеры смешения.

2. Изменение функции распределения частиц по размерам $f(d)$, которое происходит вследствие, например: формирования оболочки на поверхностях субмикронных частиц, разной скорости гибели частиц с разными характерными размерами.

3. Изменение показателя преломления n в процессе формирования полимерной оболочки на поверхностях частиц.

Существующие нефелометрические схемы измерения характерного размера субмикронных частиц в процессе формирования на поверхностях частиц полимерной оболочки не позволяют одновременно учитывать влияние всех вышеперечисленных параметров [4]. В связи с этим возникает необходимость в создании новых эксплуатационно надежных или усовершенствовании существующих оптических схем измерения, которые будут устойчивы к нежелательным вариациям физико-химических свойств частиц в процессе их капсулирования в газовом потоке.

Обзор литературных источников, а также серия проведенных расчетов по теории Ми при таких ограничениях, как однократность рассеяния, отсутствие поглощения светового излучения, диапазон изменения размеров частиц $d=[300..500]$ нм, показал, что целесообразно измерять отношение двух интенсивностей рассеяния под разными малыми углами (5..15 град) на одной длине волны (630 нм). В этом случае в процессе измерения характерного размера частиц схемой обеспечивается учет концентрации, функции распределения частиц по размерам, а также показателя преломления [5].

Список литературы

*СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ*

1. Богомолова О.Ю., Данилаев М.П., Польский Ю.Е. Формирование сплошной полимерной оболочки вокруг субмикронных частиц // «Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева». № 4 с. 68–73 (2014).
2. Данилаев М.П., Богомолова О.Ю., Богослов Е.А., Михайлов С.А., Польский Ю.Е., Пашин Д.М. Капсулирование полимером субмикронных частиц // Российские нанотехнологии. 2014. Т. 9, выпуск 11-12, с. 41–44.
3. Курангышев А.В., Данилаев М.П., Куклин В.А., Дорогов Н.В. «К выбору метода измерения характерного размера субмикронных частиц в технологических процессах» // Материалы конференции «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2017» (ПРЭФЖС-2017).
4. Беляев С.П., Никифоров Н.К., Смирнов В.В., Щелчков Г.И. Оптико-электронные методы изучения аэрозолей. М.: «Энергоиздат». 1981 г.
5. Измерение характерного размера субмикронных частиц в технологических процессах методом светового рассеяния / М.П. Данилаев, Н.В. Дорогов, В.А. Куклин, А.В. Курангышев, Н.С. Шилов // «Нано- и микросистемная техника». № 7. (2017).

**PARAMETERS OF THE OPTICAL SCHEME
OF MEASUREMENT CHARACTERISTIC DIAMETER OF
SUBMICRON PARTICLES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES**

Kurangyshev A.

Supervisor: M. Danilaev, doctor of technical sciences, professor,
V. Kuklin, candidate of technical sciences, N. Dorogov, docent
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

In technological processes in the process of measuring the characteristic size of submicron particles during the formation of a polymeric shell on the surfaces of submicron particles, there is a need to create new operationally reliable or improved existing optical measurement circuits that will be resistant to undesirable variations in the physicochemical properties of particles during

their encapsulation in a gas stream . A series of calculations carried out on the Mie theory with such limitations as single scattering, absence of light absorption, and range of particle size $d = [300..500]$ nm, showed that it is expedient to measure the ratio of two scattering intensities at different small angles (5 .. 15 deg) at the same wavelength (630 nm). In this case, in the process of measuring the characteristic particle size by the circuit, the concentration, particle size distribution function, and also the refractive index are taken into account.

УДК 621.37

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

Магомедов Х.И.

Научный руководитель В.А. Козлов, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Для моделирования случайных процессов могут использоваться различные программные средства. В частности это могут быть системы компьютерной алгебры или система более низкого уровня Си+. В данной работе проведено сравнение результатов моделирования случайных процессов с помощью программ, написанных в Mathcad Prime 3.

Источники настоящих случайных чисел найти крайне трудно. Физические шумы, такие, как детекторы событий ионизирующей радиации, дробовой шум в резисторе или космическое излучение, могут быть такими источниками. Однако применяются такие устройства редко.

Для генерации случайных чисел используют особенные алгоритмы. Эти алгоритмы заранее определены и, следовательно, генерируют последовательность чисел, которая теоретически не может быть статистически случайной. Генератор псевдослучайных чисел включён в состав многих современных процессоров, например, RdRand входит в набор инструкций IA-32.

Альтернативным решением является создание набора из большого количества случайных чисел и опубликование его в некотором словаре, называемом «одноразовым блокнотом». Тем не менее, и такие наборы обеспечивают очень ограниченный источник чисел. Хотя данные наборы действительно обеспечивают статистическую случайность, они имеют конечный набор точек.

Никакой детерминированный алгоритм не может генерировать полностью случайные числа, он может только аппроксимировать некоторые их свойства.

Наиболее распространены линейный конгруэнтный метод, метод Фибоначчи с запаздываниями, регистр сдвига с линейной обратной связью, регистр сдвига с обобщённой обратной связью, «вихрь Мерсенна».

В данной работе решалась задача сопоставления результатов, получаемых в результате работы различных алгоритмов. Особое внимание уделялось качеству генераторов случайной последовательности с равномерным законом распределения. В качестве критерия равномерности распределения использовалась зависимость χ^2 от длины реализации N .

В этой работе были смоделированы следующие алгоритмы:

- Метод серединных квадратов
- Линейный конгруэнтный метод (ЛКМ)
- Обобщенный ЛКМ
- Полиномиальный ЛКМ
- Суммарный ЛКМ
- Метод М-последовательности.
- Вихрь Мерсенна

Все алгоритмы смоделированы в среде PTC Mathcad Prime 3.0

Метод серединных квадратов как и полиномиальный ЛКМ показали неудовлетворительные результаты и стабильный рост значения χ^2 с ростом длины реализации. Линейный конгруэнтный метод и метод М-последовательности показали значительно меньшее значение χ^2 , чем методы указанные выше, однако стабильного уменьшения значения χ^2 с увеличением длины реализации не наблюдалось. Также стоит отметить сильную зависимость качества всей реализации от заданных параметров в ЛКМ.

При рассмотрении вихря Мерсенна и суммарного ЛКМ было обнаружено стабильное снижение значение χ^2 на некотором участке $N=2500$, после которого начинается стабильный рост χ^2 . Вихрь Мерсенна показал большие значения отклонения от равномерного распределения при небольшой длине реализации и более удовлетворительные показатели при больших длинах реализации.

Обобщенный ЛКМ показал себя наилучшим образом. Данный алгоритм показал значительно меньшие показатели χ^2 . На ри-

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

сунках 1 и 2 приведены графики зависимости χ^2 от длины реализации от длины реализации.

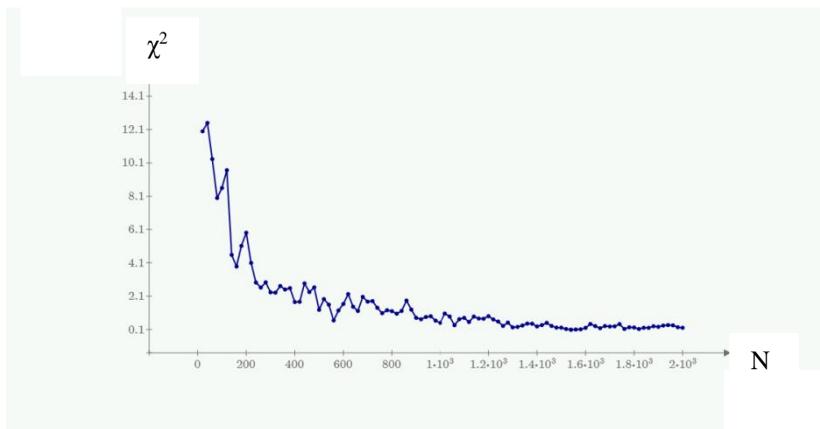


Рис. 1. Зависимость χ^2 от длины реализации N для $N_{\max} = 2000$

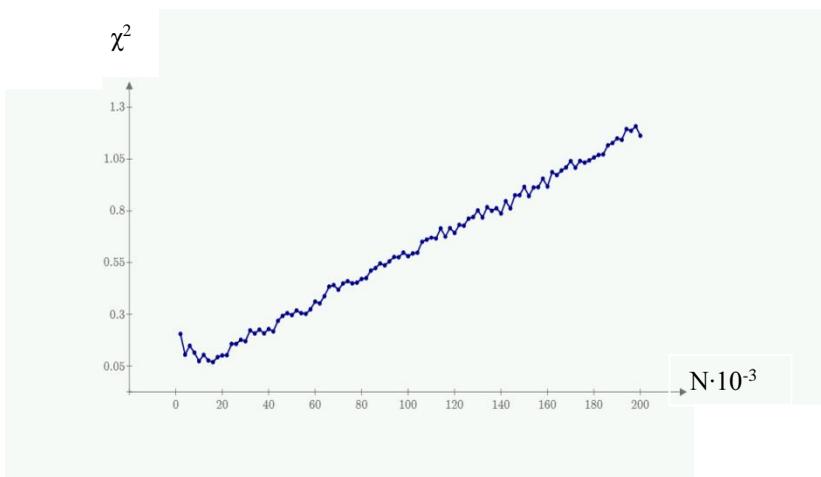


Рис. 2. Зависимость χ^2 от длины реализации N для $N_{\max} = 200000$

Дальнейшее увеличение длины реализации представляет трудности. Была исследована также равномерность закона распределения отрезков длиной в 1000 отсчетов длинной реализации,

приведенной на рисунке 2. Установлено, что и для этих отрезков закон распределения близок к равномерному.

Список литературы

1. Слепович И.И. Генераторы псевдослучайных чисел [электронный ресурс]: учебное пособие–электронные текстовые данные–Слепович И.И. 9август 2016-свободный доступ-http://www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/2016/09/22/slepovichev_i.i._generator_psevdosluchaynyh_chisel.pdf.

2. Абрамова Е.А. Сравнение результатов моделирование случайных процессов в радиотехнических устройствах в различных программных средах. XXII Туполевские чтения (школа молодых ученых). Том IV . С 469–472.

3. Прохоров С.А. Математическое описание и моделирование случайных процессов / Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2001. 209 с.

INVESTIGATION OF PSEUDORANDOMNUMBER GENERATORS

Magomedov Kh.

Supervisor: V. Kozlov, candidate of technical sciences, docent
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

For the simulation of random processes can be used various software tools. In particular it may be a Mathcad Prime 3. In this work the comparison of the results of simulation of random processes using programs written in these programming environment.

УДК 681.518.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

Никишин Т.П., Тимергалина Г.В.

Научный руководитель: Е.С. Денисов, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

Целью данной работы является исследование особенностей релаксационных процессов, происходящих в топливных элементах с протонообменной мембраной. В результате анализа данных были обнаружены наиболее чувствительные параметры, которые можно использовать в качестве возможного диагностического признака.

Одними из наиболее перспективных водородных источников электрической энергии являются топливные элементы с протонообменной мембраной, в связи с этим задача диагностики технического состояния водородных топливных элементов является довольно актуальной [1].

Электродные процессы, протекающие на границе электрод – электролит, по своему отклику на гармонический воздействующий сигнал (при амплитуде на электродной границе не более единиц милливольт) моделируются линейными электрическими двухполюсниками. В общем случае электродный процесс моделируется схемой замещения (рис. 1), где R_M – электрическое сопротивление электролита (протонообменной мембраны), C – емкость двойного электрического слоя, Z_F – фарадеевский импеданс.

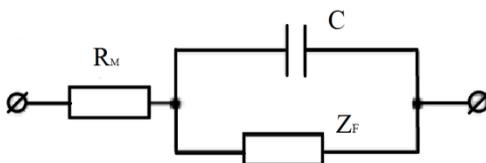


Рис. 1. Обобщенная схема замещения электродных процессов

Параметры модели могут быть описаны следующей функцией:

$$U(t) = U_L + U_1 e^{-\alpha t}, \quad (1)$$

где U_L – полное изменение напряжения после окончания релаксационного процесса, U_1 – амплитуда экспоненты, α – постоянная времени.

В ходе работы была разработана экспериментальная установка, структурная схема которой представлена на рисунке 2. Принцип работы данной установки заключается в следующем. Система измерения электрических параметров топливного элемента позволяет измерять временные зависимости потенциала и тока, а также флуктуации потенциала водородного топливного элемента.

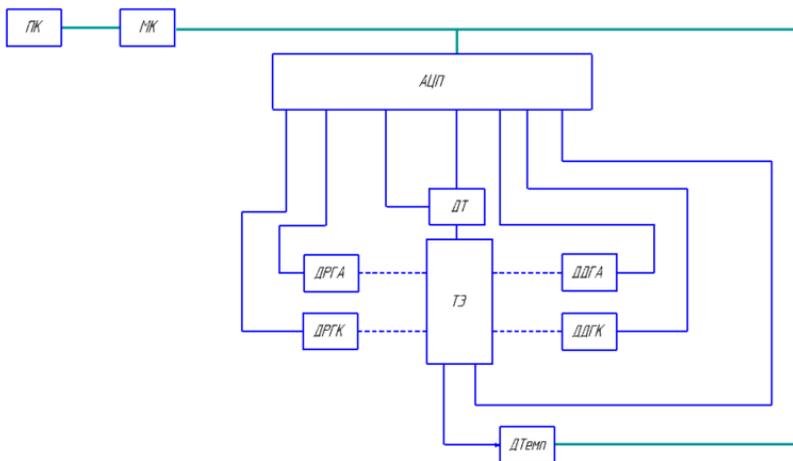


Рис. 2. Структурная схема системы измерения электрических параметров топливного элемента

Система измерения состоит из датчика тока (ДТ), аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который применяется в качестве измерителя напряжения и для оцифровки сигнала с ДТ топливного элемента, персонального компьютера (ПК), который используется для сбора и последующей обработки измеренного сигнала, и микроконтроллера (МК). Для возможности контроля рабочего режима работы топливного элемента добавлены датчики рас-

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

хода газа на аноде (ДРГА) и катоде (ДРГК), датчики давления газа на выходе анодных (ДДГА) и катодных (ДДГК) газотранспортных каналов и датчик температуры (ДТемп).

На основе структурной схемы была разработана функциональная схема (рис. 3), согласно которой в микроконтроллере (МК) программно реализуются следующие блоки: интерфейсный модуль (ИМ), блок приема измерительной информации (БПИИ), блок управления (БУ), устройство обработки (УО). Выходной сигнал датчиков через фильтр низких частот (ФНЧ), необходимый для устранения сигналов на частотах выше половины частоты дискретизации, подается на вход многоканального АЦП. Сигнал с выхода АЦП в цифровом виде подается на вход блока приема измерительной информации, реализованный в микроконтроллере. Система измерения электрических параметров топливного элемента функционирует под контролем компьютеризированной системы измерения. Программное обеспечение данной системы реализовано в среде LabVIEW 16 фирмы National Instruments.

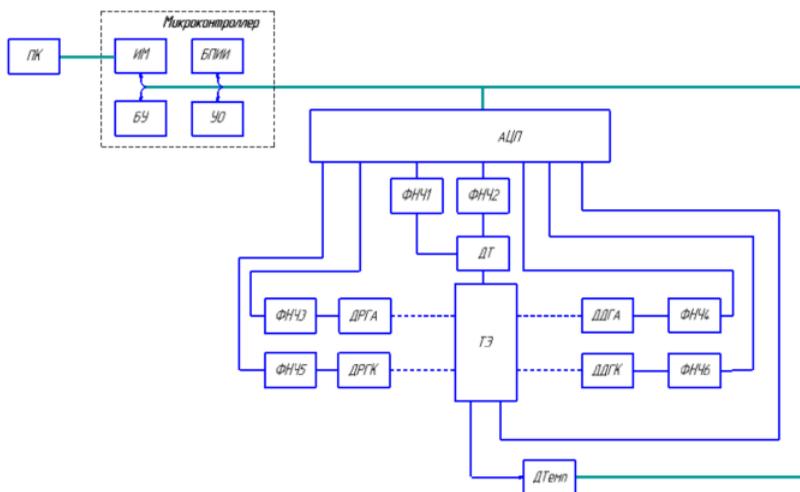


Рис. 3. Функциональная схема системы измерения электрических параметров топливного элемента

На основе экспериментального исследования были разрабо-

таны следующий алгоритм методики диагностики топливного элемента:

- измерение сигналов тока и напряжения во время релаксационного процесса;
- определение импеданса топливного элемента;
- идентификация параметров эквивалентной электрической схемы топливного элемента;
- оценка технического состояния топливного элемента по параметрам его эквивалентной электрической схемы;
- решение о замене топливного элемента или корректировке его режимов работы.

Для диагностирования топливного элемента в реальной эксплуатации предлагается реализация, представленная на рисунке 4.

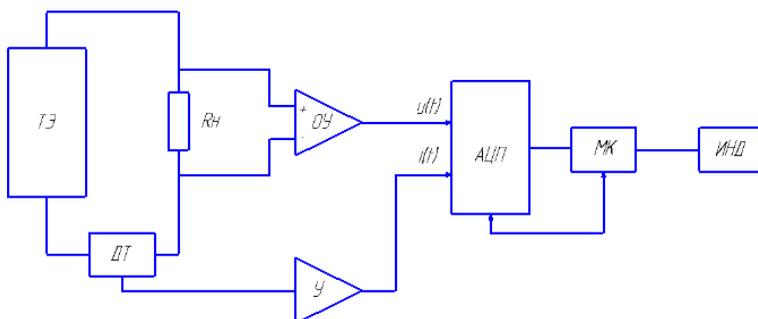


Рис. 4. Система диагностики топливного элемента

На топливном элементе измеряется ток и напряжение, с помощью усилителей сигналы тока и напряжения усиливаются и передаются через АЦП в микроконтроллер. При изменении нагрузки микроконтроллер начинает обработку переходных процессов и при выходе из диапазона допустимых значений отслеживаемых параметров U_1 и U_L на индикатор выводится сообщение о неисправности топливного элемента.

В рамках данной работы проведено исследование релаксационных режимов работы водородного топливного элемента и разработана система измерения электрических параметров топливного

*СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ*

элемента, позволяющая измерять температуру ячейки, давление на входе и выходе газотранспортных каналов, расход топлива и окислителя, напряжение и ток, разработаны методика идентификации параметров и программное обеспечение, реализующее данную методику. Анализ релаксационных режимов работы топливного элемента показал, что самым чувствительным параметром является параметр U_1 релаксационного процесса, а самым стабильным параметр U_L четвертой ступени переходного процесса. Таким образом, были выявлены наиболее чувствительные к долговременным трендам параметры эквивалентной схемы.

Список литературы

1. *Денисов Е.С.* Нелинейная и линейная электрические модели водородного топливного элемента и идентификация его параметров // *Нелинейный мир*. – 2008. – Т. 6. – № 8. – С. 483–488

**RESEARCH OF RELAXATION MODES
OF HYDROGEN FUEL CELL**

Nikishin T., Timergalina G.

Supervisor: E. Denisov, candidate of technical sciences
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

The purpose of this research is related with investigation of new features of relaxation processes that take place in the PEM fuel cells. From the analysis of data, we discovered the most sensitive parameters amplitude of the exponent that can be used as a possible degradation marker.

УДК 681.518.3:629.1

ИЗМЕРИТЕЛЬ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Павлов С.А.

Научный руководитель: М.В. Петровская
(*Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань*)

В докладе представлено микропроцессорное устройство, обеспечивающее автоматическое измерение крутящего момента элементов автомобильной трансмиссии.

При разработке новых автомобилей существенным моментом является испытание ходовой части, исследование поведения вращающихся частей трансмиссии, оценка их надежности.

Поэтому построение информационно-измерительных систем, позволяющих решение этой задачи является актуальной проблемой. Решение задачи построения таких систем с использованием беспроводных технологий передачи данных с контролируемых вращающихся элементов может существенно упростить аппаратную реализацию систем [1].

Другая проблема состоит в необходимости применения накопителей для хранения экспериментальных данных устойчивых к высокому уровню вибраций. Дело в том, что и регистратор тоже находится на движущемся объекте. Хорошее решение – это использование твердотельных накопителей информации.

На рисунке 1 представлена структурная схема телеметрической информационно-измерительной системы.

Она включает в себя отдельные автономные интеллектуальные микропроцессорные системы, объединенные в единую измерительную сеть, построенную на основе беспроводных технологий. В качестве примера сеть содержит шесть узлов контроля величины крутящего момента.

Данные от каждого интеллектуального датчика по радиоканалу передаются устройству сбора информации. Внешний накопитель подключается через внешний интерфейс.

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

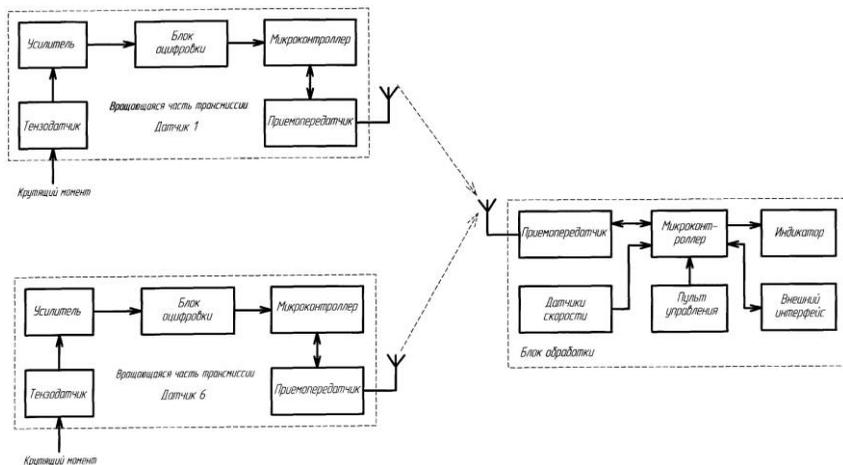


Рис. 1

Процедура обмена может быть организована по-разному. Если помехоустойчивость канала связи низкая, обмен данными необходимо проводить только после завершения эксперимента. Если помехи не критичны, передачу данных можно осуществлять в реальном масштабе времени.

На рисунке 2 представлена функциональная схема локально измерительного блока. Она содержит датчик крутящего момента (тензометрический датчик), усилитель, фильтр нижних частот, блок оцифровки данных, микроконтроллер, память данных (оперативное запоминающее устройство) и приемопередатчик.

Выходной сигнал датчика через усилитель и ФНЧ поступает на вход аналого-цифрового преобразователя. После преобразования аналогового сигнала в цифровой код данные измерений поступают в микропроцессорную систему. Данные результатов измерения записываются в блок памяти данных, а после проведения испытаний они по запросу ведущего сети передаются в центральный модуль телеметрической системы. Локальный блок также включает в себя блок автономного питания и датчик контроля напряжения.

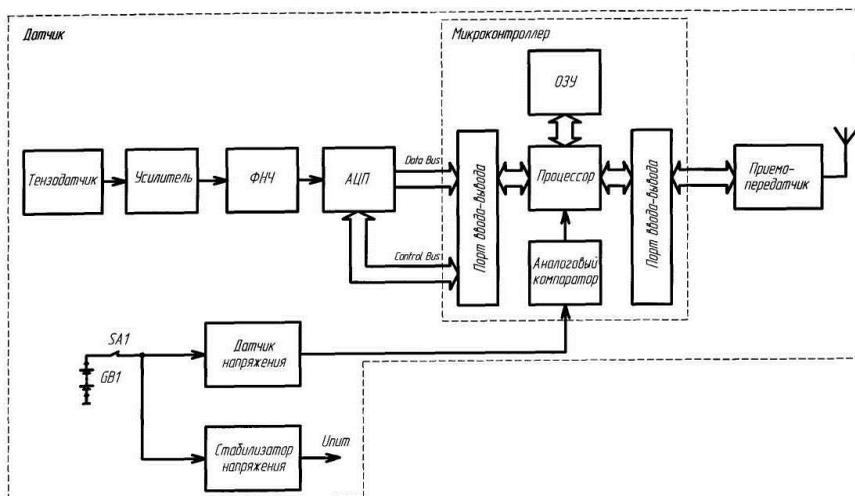


Рис. 2

Локальная измерительная сеть реализована с использованием беспроводных технологий на основе Bluetooth. Это позволило отказаться от применения токосъемников в виде скользящих контактных устройств.

Для обеспечения помехоустойчивости канала связи (радиоканала) применяется разделение во времени процессов измерения состояния трансмиссии (собственно цикл испытания) и сбора данных ведущим сети. Сбор данных осуществляется после окончания испытаний по команде с центрального модуля (регистратора).

Список литературы

1. Евдокимов Ю.К. Автоматизированный сбор и цифровая обработка данных в измерительных системах: учебное пособие / Ю.К. Евдокимов, Е.С. Денисов, Д.В. Шахтурин [и др.]. – Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2012. – 163 с.

TORQUE MOMENT MEASURING

Pavlov S.

*СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ*

Supervisor: M. Petrovskaya
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

The report presents a microprocessor device that provides automatic measurement of the torque moment of the automotive transmission elements.

УДК 621.372.85

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ КАМЕРА ДЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Романова А.С., Герасимов А.Г.

Научный руководитель: Д.В. Самигуллин, канд. биол. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева, г. Казань)

Поддержание постоянной температуры биологических объектов является необходимой составляющей проведения исследований в области биологии и нейрофизиологии. В данной работе описана конструкция экспериментальной термостатируемой камеры, предназначенной для проведения исследований на возбудимых клетках с использованием микроскопической техники. Камера отличается простотой конструкции и позволяет регулировать температуру исследуемого объекта в широком диапазоне значений.

Описание узлов и конструкция камеры.

Экспериментальная камера для поддержания температуры биологического образца состоит из доступных компонентов, которые можно приобрести через интернет или в специализированных магазинах. Основой камеры служит радиатор марки ВLA239-150 (Рис. 1, (1)), габариты которого подходят для размещения двух модулей Пельтье марки TEC1-12706 (40×40мм) (Рис. 1, (3)). Радиатор необходим, поскольку модули Пельтье-выделяют в процессе работы большое количество тепла. В зависимости от заданной температуры в камере и от температуры в помещении радиатор будет либо нагреваться, либо охлаждаться.

Как показывает наш опыт, данный тип радиатора применим для отведения тепла при установке температуры в экспериментальной камере в диапазоне от 15 °С до 37 °С без дополнительных вентиляторов и жидкостного охлаждения. В радиаторе просверливаются отверстия, и нарезается резьба под винт М3 для крепления

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

корпуса камеры и кронштейна для закрепления на микроскопном столике.

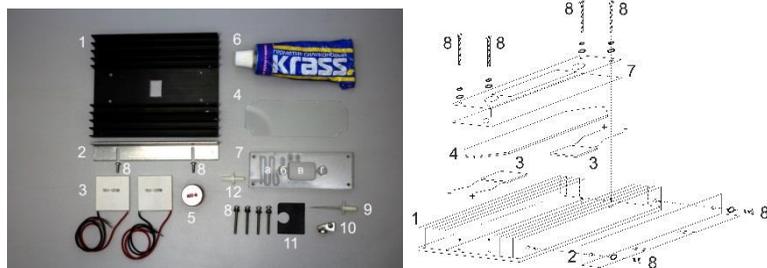


Рис. 1. Фотография необходимых материалов и оборудования для изготовления экспериментальной камеры (сверху) и схема сборки камеры (снизу). 1 – радиатор; 2 – кронштейн; 3 – Элементы Пельтье; 4 – стеклянное дно; 5 – теплопроводящая смазка; 6 – герметик; 7 – корпус камеры (а – змеевик, б – предварительная камера, в – рабочая камера, г – камера для отвода жидкости); 8 – болты крепления с гайками; 9 – трубка отсоса; 10 – кронштейн для крепления трубки отсоса; 11 – пластина крепления отсоса; 12 – штуцер подачи раствора

Кронштейн изготавливается из алюминиевого уголка 20×20 мм и крепится винтами М3 к радиатору (Рис. 1, (2)). В кронштейне высверливаются отверстия для крепления к микроскопному столику. Конфигурация и диаметр отверстий выбирается исходя из конструкции микроскопного столика. Элементы Пельтье контактируют рабочей стороной со стеклянным дном камеры толщиной 1.3 мм (Рис. 1, (4)). В качестве заготовки для изготовления дна использовалась стеклянная фотопластинка (слой эмульсии был удален). Стоит отметить, что дно камеры должно быть сделано из стекла для обеспечения лучшей теплопроводности. Обе стороны элементов Пельтье контактируют с радиатором и дном камеры через теплопроводящую смазку КТП – 8 (Рис. 1, (5)). Дно камеры приклеивается при помощи силиконового герметика (Рис. 1, (6)) к корпусу камеры, изготовленному из листа органического стекла толщиной 10 мм (Рис. 1, (7)). В корпусе при помощи сверлильного или фрезерного станка высверливаются отверстия для подачи раствора (Рис. 1, (7, а)) и размещения различных датчиков и микроинстру-

ментов, в зависимости от экспериментальных условий. Для более эффективного теплообмена подача раствора осуществляется через змеевик, фрезерованный в корпусе камеры (Рис. 1, (7, б)). Так же высверливаются отверстия под предварительную камеру (Рис. 1, (7, б)) рабочую камеру (Рис. 1, (7, в)) и камеру для отвода жидкости (Рис. 1, (7, г)). Предварительная камера необходима для демпфирования гидроударов, возникающих в системе перфузии при подаче раствора. В камере для отвода жидкости располагается трубка (Рис. 1, (8)), отсасывающая раствор, протекающий через рабочую зону камеры. В качестве трубки отсоса раствора используется игла от системы внутривенного вливания, диаметром 1,5 мм. Трубка отсоса закрепляется в держателе, изготовленном из органического стекла (Рис. 1, (9)). В свою очередь держатель крепится к камере при помощи приклеенного магнита. Для крепления магнита к корпусу камеры на двустороннем скотче крепится металлическая пластина (Рис. 1, (10)). Корпус камеры с дном и элементами Пельтье плотно притягивается к радиатору винтами М3 с шайбой гровера. Предпочтительно использование крепежа из нержавеющей стали (см. схему сборки на рис. 1). Внешний вид камеры в сборе представлен на рисунке 2.

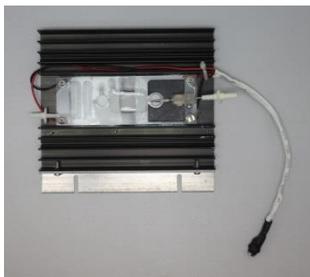


Рис. 2. Фотография камеры в сборе

Провода от элементов Пельтье соединяются параллельно и припаиваются к разъему питания. Для запитывания элементов Пельтье возможно использование блока питания с ручной регулировкой и стабилизацией напряжения или тока. Напряжение питания зависит от выбранного диапазона рабочих температур. Для ре-

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

гулировки температуры в диапазоне $+15 - +36\text{ }^{\circ}\text{C}$ достаточно использовать источник питания, рассчитанный на ток 2-4А. Для контроля температуры в камере используется автономный термометр с выносным датчиком температуры. Возможно использование термометра с жидкокристаллическим дисплеем для дистанционного контроля температуры. Такие термометры снабжены выносным датчиком температуры из нержавеющей стали, соединенным с основным корпусом гибким проводом. Датчик располагается в рабочей камере в непосредственной близости от объекта исследования. В зависимости от заданной температуры, контролируемой термометром, задается напряжение на элементах Пельтье, которое подбирается экспериментальным методом. В нашей лаборатории для поддержания температуры в экспериментальной камере используется специально разработанный автоматический контроллер, работающий по принципу пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД) регулятора. На рисунке 3 показан график, иллюстрирующий работу камеры, температуру в которой задает автоматический контроллер. Видно, что температура в рабочей области выходит на заданный уровень (15, 20 или $35\text{ }^{\circ}\text{C}$) примерно за 5 мин. Волнообразные изменения температуры в начальные моменты времени установления связаны с алгоритмом работы ПИД регулятора. На графике представлены усредненные замеры 5 опытов со стандартной ошибкой. Во время работы системы через камеру протекала дистиллированная вода со скоростью 32 капли в минуту.

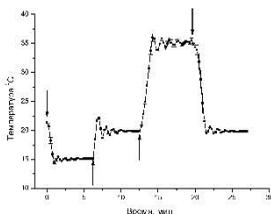


Рис. 3. График иллюстрирующий работу термостатируемой камеры. По оси Y температура в рабочей зоне камеры, по оси X – время. Стрелками указаны моменты изменения температуры регулятором. Усредненные данные 5 циклов нагревания и охлаждения.

Заключение.

Достигаемая при помощи разработанной системы термостабилизации точность и быстрота установления температуры в рабочей зоне камеры позволяют быстро изменять и поддерживать необходимую температуру среды для проведения электрофизиологических и микроскопических исследований с применением различных биологически активных соединений и перспективных фармакологических препаратов на целых препаратах и одиночных клетках. Благодаря конструкции рабочей камеры возможно использование системы перфузии препарата, которая позволяет оперативно сменить раствор в рабочей области камеры, что особенно важно при работе на нейронах центральной нервной системы. Использование элементов Пельтье позволяет нагревать и охлаждать препарат, регулируя температуру рабочей камеры в широком диапазоне значений. Это выгодно отличает систему от промышленных аналогов на других активных элементах, способных только к нагреву препарата выше комнатной температуры [1]. В отличие от коммерчески доступных дорогостоящих аналогов [2], представленная камера собрана из доступных недорогих компонентов. В нашей лаборатории данная система термостабилизации используется при работе на периферических нервных окончаниях теплокровных и холоднокровных животных при изучении временного хода секреции квантов медиатора [3] и модуляции синаптической передачи физиологически активными веществами [4]. Существенным достоинством предлагаемой системы является отсутствие шумов и наводок на регистрирующую аппаратуру, препятствующих регистрации электрофизиологической активности возбудимых клеток.

Список литературы

1. Bioscience tools, Systems & Accessories for Imaging & Recording in Animal Physiology & Cell Biology: MicroIncubators for live samples Single Cell & Tissue Perfusion CO₂, O₂ & Temperature Control Liquid Delivery & Fluidics [Electronic resource]- URL:<http://biosciencetools.com/Catalog.pdf> (accessed: 13.04.2017).

2. Warner Instruments a Harvard Apparatus. Specialized tools for Electrophysiology & Cell Biology Research [Electronic resource] – URL: <http://biosciencetools.com/Catalog.pdf> (accessed: 13.04.2017).

3. Samigullin D., Bukharaeva E., Nikolsky E., Vyskocil F. 2003. Temperature effect on proximal to distal gradient of quantal release of acetylcholine at frog endplate / D. Samigullin, E. Bukharaeva, E. Nikolsky and F. Vyskocil // *Neurochem. Res.* – 2003 – Vol. 28 (3–4). – P. 507–514.

4. Khaziev E. Acetylcholine-induced inhibition of presynaptic calcium signals and transmitter release in the frog neuromuscular junction / E. Khaziev, D. Samigullin, N. Zhilyakov, N. Fatikhov, E. Bukharaeva, A. Verkhatsky and E. Nikolsky // *Frontiers in Physiology.* – 2016 – Vol. 7(621). doi: 10.3389/fphys.2016.00621.

EXPERIMENTAL TEMPERATURE-CONTROLLED CHAMBER FOR MICROSCOPIC STUDIES OF BIOLOGICAL OBJECTS

Romanova A., Gerasimov A.

Supervisor: D. Samigullin, PhD, assoc. professor
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Maintaining a constant temperature of biological objects is a necessary component of research in the field of biology and neurophysiology. In this paper, we describe the design of the temperature-controlled chamber designed to perform studies on excitable cells using microscopic techniques. The chamber is simple in design and allows to adjust the temperature of the object under study over a wide range.

УДК 681.518.3:629.1

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ БАЛАНСИРОВКИ КОЛЕС

Сагдиев И.Г.

Научный руководитель: В.В. Петровский, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе представлена автоматизированная микропроцессорная система управления стендом для балансировки колес легковых автомобилей с повышенной точностью и быстродействием.

На сегодняшний день автомобиль стал неотъемлемой частью нашей жизни. Каждый день количество автомобилей увеличивается большими темпами. У каждого автомобиля в процессе эксплуатации происходит износ его комплектующих. Неровности на дороге, ямы, неаккуратное вождение и другие факторы приводят к разбалансировке колес. Чтобы решить эту проблему люди обращаются в организации, в которых есть балансировочные станки, способные решить эту проблему. Станки отличаются друг от друга по точности, быстродействию и методам балансировки.

Целью данной работы является разработка блока микропроцессорного модуля балансировочного станка с повышенной точностью и быстродействием.

На рисунке 1 приведена укрупненная структурная схема автоматизированной системы балансировки.

Система работает следующим образом.

С помощью устройства ввода вводятся диаметр и ширина колеса. С датчиков вибрации на измерительный блок поступает информация о величине дисбаланса, с датчик частоты вращения на измерительный блок поступает сигнал, несущий информацию о частоте вращения колеса, а с помощью датчик углового положения определяется угол, на котором наблюдается дисбаланс.

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

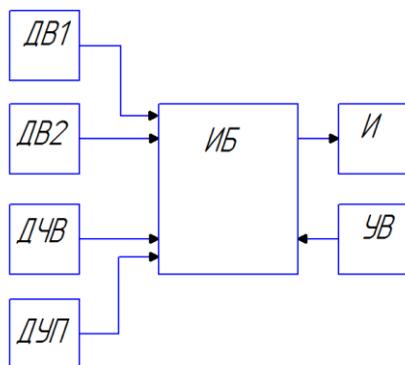


Рис. 1. Схема автоматизированной системы балансировки
ДВ – датчик вибрации, ДЧВ – датчик частоты вращения,
ДУП – датчик углового положения, ИБ – измерительный блок,
И – индикатор, УВ – устройство ввода

В измерительном блоке происходит обработка информации и расчет корректирующих масс. Информация о величине и угле дисбаланса выводится на индикатор.

На рисунке 2 приведена функциональная схема микропроцессорного блока автоматизированной системы балансировки, построенного по схеме многоточечной информационно измерительной системы [1].

В схеме на рисунке 1 приняты следующие сокращения: ПУ – приводное устройство; В – вал; ДВ – датчик вибрации; УИП – унифицирующий измерительный преобразователь; АК – аналоговый коммутатор; УВХ – устройство выборки и хранения; ДЧВ – датчик частоты вращения; ДУП – датчик углового положения; БС – блок согласования; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МПС – микропроцессорная система; СБ – силовой блок; УВ – устройство ввода; И – индикатор.

Микропроцессорной системы позволяет проводить балансировку колес по внутренней и внешней плоскости.

Перед началом работы в память системы вводятся данные о колесе: диаметр, ширина колеса. Включение приводного устройства и его аварийное выключение производится с помощью силового блока.

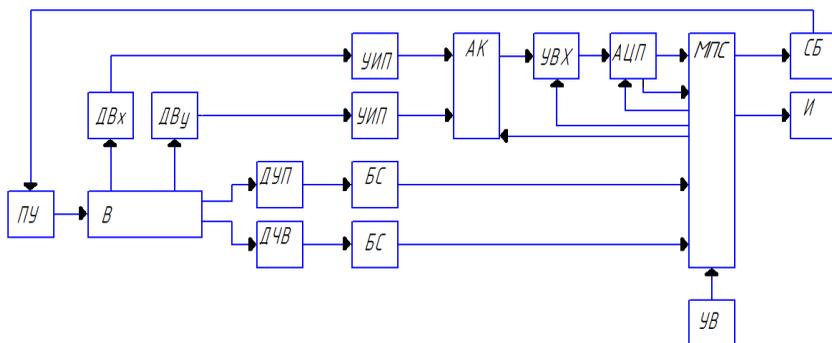


Рис. 2. Функциональная схема микропроцессорного блока автоматизированной системы балансировки

Балансировка проводится при скорости вращения колеса 200 об/мин [2]. Скорость вала и частота повторений биений измеряется датчиком частоты вращения, угловое положение дисбаланса определяется с помощью датчик углового положения.

Сигналы с датчиков частоты вращения и углового положения после преобразования поступают в микропроцессорную систему. Сигнал с датчиков вибрации после преобразования и оцифровки также поступают в микропроцессорную систему, где происходит дальнейшая обработка сигнала (фильтрация, интерполяция, Фурье-анализ, вычисление параметров балансировки и т.д.).

Полученные результаты (численные значения амплитуды и фазы вибрации или силы, частоты вращения и т.п.) выводятся на индикатор и запоминаются в отделах памяти. По результатам измерений в цифровом виде осуществляется решение задачи балансировки, после чего на дисплей компьютера выводятся данные о величине и угле установки корректирующей массы.

Повышение точности балансировки по сравнению с известными системами достигается за счет уменьшения погрешности измерительного канала определения величины дисбаланса и повышения точности определения его углового положения.

Список литературы

*СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ*

1. *Евдокимов Ю.К.* Автоматизированный сбор и цифровая обработка данных в измерительных системах: учебное пособие / Ю.К. Евдокимов, Е.С. Денисов, Д.В. Шахтурин [и др.]. – Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2012. – 163 с.

2. Инструкция по эксплуатации и паспорт станка для балансировки колёс Nordberg Automotive 4524E [сайт]: <http://avtoparts66.ru/instr/4524.pdf>

WHEELS BALANCE AUTOMATED SYSTEM

Sagdiev I.

Supervisor: V. Petrovsky, Ph.D. (Eng.), Associate Professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

The paper presents an automated microprocessor control system for the car wheels balancing with increased accuracy and speed.

УДК 681.518.5

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ПО ПЕРЕХОДНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Тимергалина Г.В., Никишин Т.П.

Научный руководитель: Е.С. Денисов, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе оценена возможность диагностики электрохимических источников тока по их переходным характеристикам. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что переходная характеристика обладает достаточно высокими диагностическими свойствами.

Электрохимические источники тока (ЭХИТ) в настоящее время являются основными накопителями энергии в большинстве современных электронных устройствах, что связано с улучшением их массогабаритных показателей. Проблема диагностики состояния ЭХИТ чрезвычайно актуальна, так как особое внимание уделяется созданию новых видов электрохимических систем, для которых важна своевременная оценка технического состояния без нарушения целостности системы.

Импеданс является передаточной функцией, которая может быть определена при условии, что, по крайней мере, во время измерения свойства линейной системы не должны изменяться со временем [1]. Однако реальные электрохимические системы являются нелинейным, их долгосрочная стационарность не может быть гарантирована с высокой точностью. Из всего этого следует, что диагностику электрохимических источников тока рационально проводить по переходным характеристикам.

Для формирования переходной кривой предлагается использовать управляемую нагрузку, которая представляет собой малое сопротивление, коммутируемое транзистором параллельно основной нагрузке.

Для описания переходных процессов традиционно применя-

*СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ*

ется переходная характеристика [2]. Для ЭХИТ ее можно определить, как ступенчатый отклик напряжения или тока. В данной работе рассматривается ступенчатый отклик напряжения, но все выводы также справедливы для ступенчатого отклика тока. В описываемом случае измеряемый сигнал представляет собой переходный процесс напряжения, вызванный ступенчатым изменением электрического тока электрохимических источников тока (рис. 1).

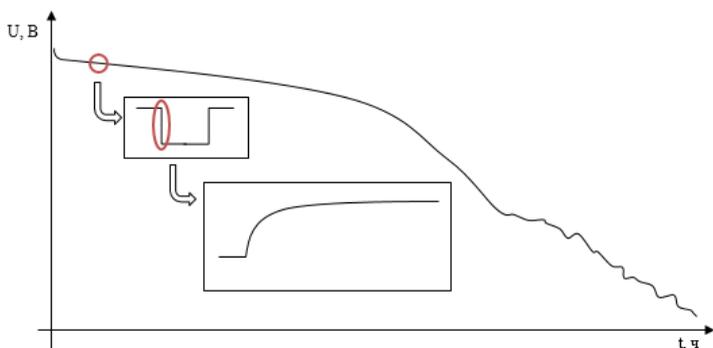


Рис. 1. Переходная характеристика электрохимических источников тока

В ходе работы была разработана экспериментальная установка, структурная схема которой представлена на рисунке 2. Принцип работы данной установки заключается в следующем. Измерительные сигналы с датчика тока (ДТ), датчика напряжения (ДН) и датчика температуры (ДТемп) поступают на унифицирующие измерительные преобразователи (УИП), после чего они передаются на вход коммутаторов аналого-цифровых преобразователей (АЦП).

Для каналов измерения тока и напряжения использовался прецизионный АЦП модуля ввода данных РХІ NI-5922. Далее в контроллере РХІ происходит обработка измеренных данных, численное значение данных выводится на дисплей контроллера, при необходимости происходит корректировка параметров системы. Роль управляемой нагрузки выполняет мощный полевой транзистор IRFZ44N, который работая в паре с блоком управления нагрузкой (БУН) позволяет управлять электрическим режимом ра-

боты ЭХИТ.

В качестве датчика тока использовалось токосъемное сопротивление, выполненное из проволоки суперфехрала GS SY с низким температурным коэффициентом сопротивления ($\sim 1,5 \cdot 10^{-5}$ 1/К). Контроллер РХИ выполняет все арифметические и логические вычисления.

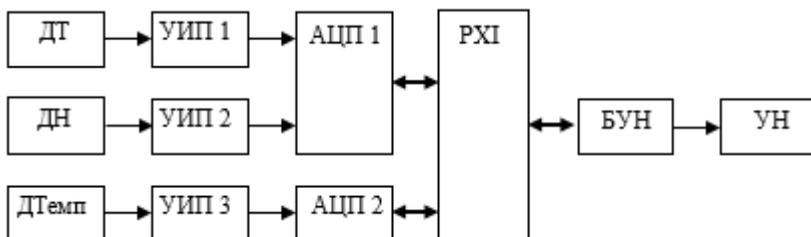


Рис. 2. Структурная схема системы диагностики электрохимических источников тока

Для обеспечения работы экспериментальной установки электрохимических аккумуляторов был разработан алгоритм, содержащий в себе следующие этапы:

- 1) создание скачка тока посредством управляемой нагрузки;
- 2) измерение отклика напряжения;
- 3) идентификация параметров модели посредством компьютерного фиттинга;
- 4) определение диагностических признаков.

Последовательное выполнение всех этапов алгоритма позволит получить точные диагностические признаки системы. При неверном установлении каких-либо параметров происходит их повторное определение.

Анализ экспериментальных данных показал, что существует возможность использования переходной характеристики электрохимических систем в качестве альтернативы импедансной спектроскопии в области диагностирования технического состояния ЭХИТ. К явным преимуществам такого подхода следует отнести малое время измерения и простоту используемого измерительного оборудования. В перспективе предложенной системой диагностики

*СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ*

можно оснастить большинство химических источников тока без существенного их удорожания.

Список литературы

1. *G.S. Popkirov*. Fast time-resolved electrochemical impedance spectroscopy for investigations under nonstationary conditions. Institute of Physical Chemistry, University of Kiel, Olshausenstr. 40-60, 24098 Kiel, Germany. *Electrochimica Acta* Vol. 41. Nos. 7/g, pp. 1023-1027. 1996

2. *Попов В.П.* Основы теории цепей: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 496 с.

**ESTIMATION OF THE POSSIBILITY OF DIAGNOSTICS
OF ELECTROCHEMICAL SOURCES OF CURRENT
BY TRANSITIONAL CHARACTERISTICS**

Timergalina G., Nikishin T.

Supervisor: E. Denisov, candidate of technical sciences
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan*)

The work evaluates the possibility of diagnosis of electrochemical current sources according to their transient characteristics. Analysis of the obtained experimental data showed that the transient response has high diagnostic features.

УДК 681.518.3:629.1

КОНТРОЛЛЕР ТЕПЛООВОГО УЗЛА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОМА

Усачев А.А.

Научный руководитель: В.В. Петровский, канд. техн. наук, доцент
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)

В работе предложен вариант модернизации релейной автоматики газового котла с ручным управлением с использованием комплексной работы комнатного и погодозависимого регуляторов. Такое решение обеспечивает сглаживание пауз комфорта и дискомфорта в отапливаемом помещении.

Во всех отопительных котлах применяется встроенная автоматика для обеспечения безопасности (при отключении газа или электричества, пропадании тяги, снижении давления воды в системе ниже нормы, автоматика против замерзания). Также множество современных котлов содержит автоматику, которая способствует более комфортному и экономичному управлению режимами работы котла.

Анализ источников [1] показал, что встроенная и отдельная автоматика для решения задачи поддержания комфортной температуры предлагаемая на рынке, имеет достаточно высокую стоимость и может справляться со своей задачей не очень хорошо. В первую очередь производитель направляет большую часть функционала на безопасную работу и повышения коэффициента полезного действия своего теплогенератора. За пользователями этих агрегатов только и остается выбор, какую температуру поддерживать в помещении.

Один из самых распространенных алгоритмов управления отопительным котлом – «релейный». В этом случае включение котла по команде термостата (по установленному пользователем значению температуры теплоносителя) производится периодически и при некотором времени простоя котла (времени, когда отключена

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

подача газа к горелке котла) радиаторы становятся холодными. В такие периоды атмосфера в помещении становится некомфортной. Дискомфорт возникает из-за отсутствия инфракрасного излучения от батарей.

После некоторой паузы простоя и при понижении температуры теплоносителя и температуры воздуха в помещении термостат подает команду котлу на включение, котел начинает нагонять температуру до нужного уровня. Здесь происходит скачок комфортности. Таким образом, получается, что отопительный цикл состоит из некоторых температурных колебаний.

Суть модернизации релейной автоматики газового котла с ручным управлением, предлагаемая в работе, заключается в комплексной работе регуляторов (комнатного и погодозависимого). Это обеспечивает сглаживание пауз комфорта и дискомфорта за счет регулировки циклов в зависимости от внешней температуры. При этом котел всегда обеспечивает оптимальную температуру теплоносителя, чем достигается максимальная экономия и комфорт в доме.

Также следует учитывать, что жилое помещение очень инерционно на прогрев и остывание и обычный выносной термостат как раз работает от крайней точки остывания до крайней точки прогрева помещения. В этом случае и наблюдаются длительные паузы простоя отопительного агрегата. Нельзя считать экономию погодозависимого или комнатного регулятора правильной, если этот регулятор половину дня не топить вообще, а потом нагоняет температуру до уровня комфортной. В любом случае, чтобы поддержать в помещении постоянную температуру, нужно израсходовать определенное количество газа, которое можно израсходовать, протопив помещение, например два раза в сутки, или это же количество газа (зачастую даже меньшее) расходовать за двадцать раз в сутки. Второй способ более корректный и комфортный.

Как уже говорилось самым важным достоинством автоматизации котлов является то, что автоматизированные котлы обходятся в эксплуатации дешевле обычных отопительных приборов. Ведь стандартный прибор функционирует в одном режиме круглые сутки, а «умный» котел, оснащенный особым устройством, синхрони-

зирующим режим работы котла с потребностями хозяев дома. То есть, автоматизированный котел работает на полную мощность «когда нужно» (вечером, в выходные дни), а «когда не нужно» (по ночам или в рабочее время) – практически не работает. В итоге, можно сэкономить от 30 до 50 % энергии, а, следовательно, и денег, расходуемых на отопление.

Структурная схема системы автоматизации работы котла приведена на рисунке 1.

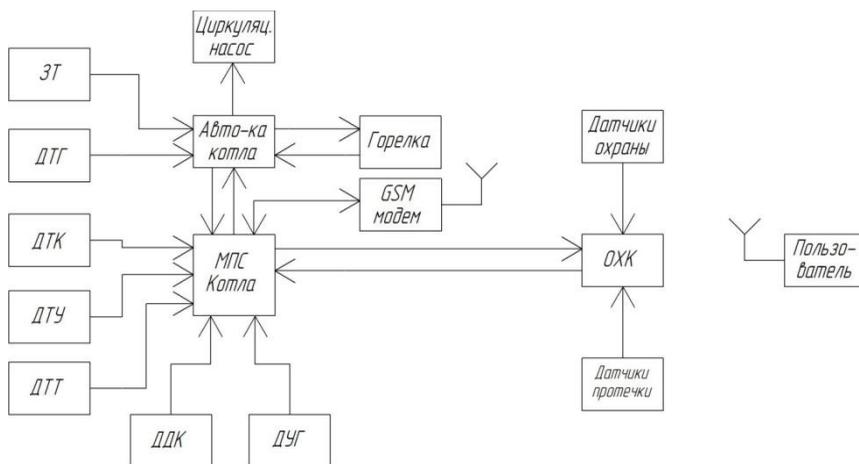


Рис. 1. Структурная схема системы автоматизации работы котла

На схеме приняты следующие сокращения: ЗТ – защитный термостат; ДТГ – датчик температуры газов; ДТК – датчик температуры воздуха комнат; ДТУ – датчик температуры воздуха улицы; ДТТ – датчик температуры теплоносителя; МПС – микропроцессорная система; ДДК – датчик давления котла; ДУГ – датчик утечки газа; ОХК – охранно-коммуникационный контроллер.

Микропроцессорный блок автоматического управления газовым котлом использует группу безопасности котла (защитный термостат, датчик тяги) и через штатную автоматику котла управляет работой горелки и циркуляционного насоса.

В микропроцессорную систему дополнительно включены выносные датчики температуры комнаты и улицы, отдельные от

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

штатной системы автоматики датчик температуры теплоносителя, датчики утечки газа, давления воды в контуре отопления, датчик протечки воды; а также устройство, которое обеспечивает пользователя двусторонней связью с системой.

Управление температурой в помещении основано на изменении температуры теплоносителя, путем включения или отключения насоса и горелки, с учетом изменения температуры на улице и в комнате.

Защитный термостат котла, датчик температуры сгоревших газов, датчик протечки воды и датчик утечки газа образуют новую более широкую по функциональным возможностям и, как следствие, более надежную группу безопасности.

С помощью GSM-модема пользователь может управлять работой котла SMS-командами, принимать сообщения о состоянии котла, котельного и жилого помещений. Например, можно задавать пороги включения и выключения котла по температуре в доме или по температуре теплоносителя. Охранно-коммуникационный контроллер передает пользователю данные о нарушении охранных зон.

Список литературы

1. Загородный дом / Автоматизация системы отопления и погодозависимая автоматика [сайт]: <http://zdom.by/stati/inzhenernye-sistemy/4435-avtomatizatsiya-sistemy-otopleniya-i-pogodozavisimaya-avtomatika>.

INDIVIDUAL HOME THERMAL UNIT CONTROLLER

Usachev A.

Supervisor: V. Petrovsky, Ph.D. (Eng.), Associate Professor
(*Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan*)

The paper proposes a variant of modernization of a gas boiler relay automatics with manual control using complex of room and weather-dependent regulators. This solution ensures smoothing of pauses of comfort and discomfort in a heated room.

УДК 621.3.09

ИСПЫТАНИЯ ПОМЕХОЭМИССИИ ОТ ИНТЕРФЕЙСОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Фаухиева Л.Ф.

Научный руководитель: Р.Р. Гайнутдинов, канд. техн. наук
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)

В работе проведены исследования эмиссии электромагнитных помех от интерфейсов бортового оборудования летательного аппарата. Разработаны имитационные модели, которые позволяют точно учитывать параметры линий связи интерфейсов, а также схемы электрических подключений. Получены результаты исследования, которые показывают превышения уровня эмиссии электромагнитных помех установленных нормативными документами.

Испытания эмиссии излучаемых радиопомех от бортового оборудования на сегодняшний день являются основным и практически единственным методом подтверждения соответствия оборудования установленным нормам. Испытания как правило, проводятся в аккредитованных лабораториях, занимают до нескольких недель и имеют значительную стоимость. Вместе с тем, на момент проведения испытаний по помехоэмиссии разработчик не имеет гарантий их успешного завершения. В связи с чем необходимы новые подходы к подготовке и проведению испытаний на эмиссию электромагнитных помех. Одним из таких подходов является прогнозирование эмиссии электромагнитных помех, которые позволяют избежать имеющие высокую стоимость реальных испытаний [1, 2, 3].

Целью работы является прогнозирование эмиссии электромагнитных помех от бортового оборудования беспилотного летательного аппарата.

Для прогнозирования помехоэмиссии от бортового оборудования беспилотного летательного аппарата предлагается применять

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

программные реализации численных методов на основе разработки имитационных моделей. В качестве инструмента для прогнозирования предлагается использовать программу моделирования электромагнитных полей Microwave Studio [4, 5, 6].

Испытания проводятся в соответствии со стандартом MIL-STD-461E. Цель испытаний – подтвердить, что электромагнитная помеха не приводит к искажениям полезного сигнала или ухудшению режимов работы оборудования [7, 8].

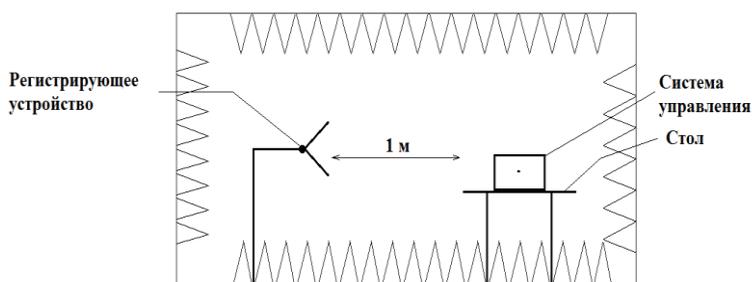


Рис. 1. Схема виртуального стенда

В качестве примера в работе проводятся исследование эмиссии электромагнитных помех от бортового оборудования летательного аппарата, которое представляет собой систему его управления. В качестве основных источников эмиссии электромагнитных помех рассматриваются излучения от интерфейсных линий связи (рис. 2). В работе исследуются интерфейсы RS-485, RS-232 и широтно-импульсная модуляция. Интерфейс RS-485 соединяет периферийное устройство и периферийный контроллер. Интерфейс RS-232 соединяет систему управления с имитирующим радиомодемом и GPS. Широтно-импульсная модуляция (shim), соединяет периферийные контроллеры с внешними имитирующими устройствами.

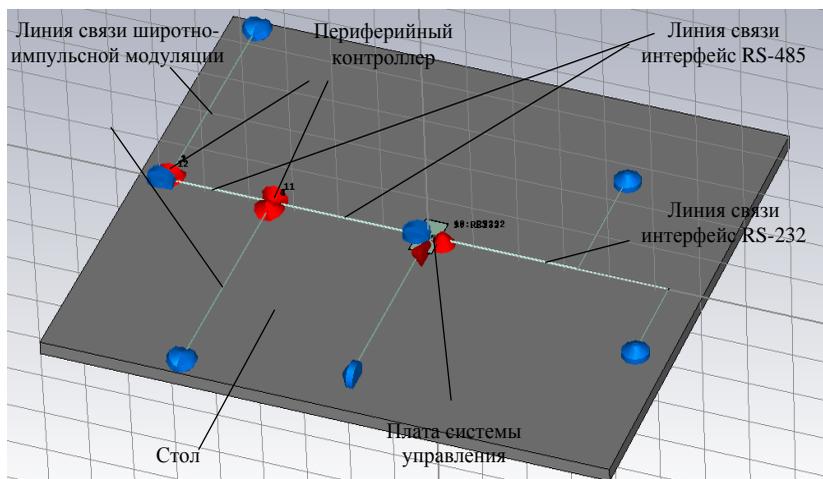
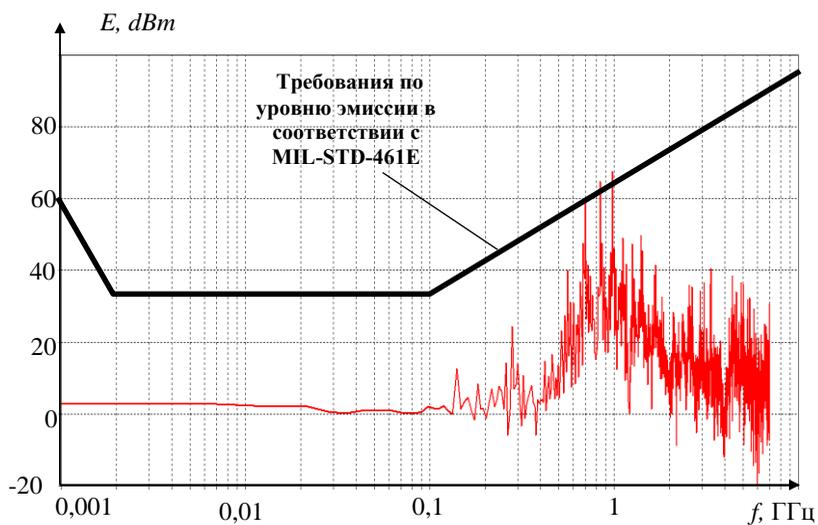


Рис. 2. Расположение исследуемого оборудования

Результаты исследования эмиссии электромагнитных помех представлены на рисунке 3.



СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Рис. 3. Измерение напряженности электрического поля во временной области

Из результатов видно, что устройство не соответствует требованиям стандарта МП-461Е, и уровень эмиссии электромагнитных помех незначительно превышает норму требований на частотах 800МГц-1ГГц.

Для улучшения помехоустойчивости необходимо использовать экранирование, применение линий передачи специальных конструкций, использование фильтров, снижение площади контуров проводников и рядом других мероприятий, закладываемых на разных этапах разработки бортового оборудования [9].

Список источников

1. *Гайнутдинов Р.Р., Чермошентцев С.Ф.* Методология обеспечения внутрисистемной электромагнитной совместимости бортового оборудования беспилотных летательных аппаратов // Изв. Вузов. Авиационная техника. 2016. № 4. С. 155–161.
2. *Гайнутдинов Р.Р., Чермошентцев С.Ф.* Прогнозирование внутрисистемной электромагнитной совместимости беспилотных летательных аппаратов // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 4. – С. 124–130.
3. *R.R. Gaynutdinov, S.F. Chermoshentsev* Emission of electromagnetic disturbances from coupling paths of avionics unmanned aerial vehicles // Proceedings of 2017 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), Astana, 2017, in press.
4. *S.F. Chermoshentsev, R.R. Gaynutdinov*, Modeling the External Electromagnetic Influences on the Complex Electronic Equipment // Proceedings 2015 XVIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), St. Petersburg, 2015, pp. 90–92.
5. *R.R. Gaynutdinov, S.F. Chermoshentsev* Study of lightning strike impact on unmanned aerial vehicle // Proceedings of 2016 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), Erlagol, 2016, pp. 428–432.

6. *Gaynutdinov R.R., Chermoshentsev S.F.* Study of impact lightning at of electromagnetic and thermal stability of fuselage of unmanned aerial vehicle// Proceedings of the 2016 International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering (APEDE), September 22-23, 2016, Saratov, Russia. P. 241–246.

7. *Кечиев Л. Н., Балюк Н. В.* Зарубежные военные стандарты в области ЭМС. – М.: Грифон, 2014. – 450 с.

8. *Кириллов В.Ю.* Электромагнитная совместимость летательных аппаратов / В. Ю. Кириллов. – М. : Изд-во МАИ, 2012. – 162 с

9. *Гайнутдинов Р.Р., Чермошенцев С.Ф.* Прогнозирование электромагнитных помех в межблочных линиях связи летательного аппарата при микросекундных импульсных электромагнитных взаимодействиях //Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 2. – С. 203–208.

MODELING OF THE TEST OF ELECTROMAGNETIC EMISSION FROM AIRCRAFT EQUIPMENT OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

Faukhieva L.

Scientific adviser: R. Gainutdinov, Ph.D.

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev - KAI, Kazan)

The work investigates the emission of electromagnetic interference from the interfaces of the airborne equipment of the aircraft. Simulation models have been developed that allow to accurately take into account the parameters of communication lines of interfaces, as well as electrical connection schemes. The results of the study are obtained, which show the excess of the level of emission of electromagnetic interference established by regulatory documents.

УДК 681.518.3:629.1

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДОМ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Хуснутдинов С.Р.

Научный руководитель: М.В. Петровская
(Казанский национальный исследовательский технический
университет имени А.Н. Туполева – КАИ)

В докладе представлен микропроцессорный блок управления стендом тестирования электроцентробежного насоса.

Установка электроцентробежных насосов (УЭЦН), используемая для добычи нефти, состоит из погружной и наземной частей. Погружная часть включает в себя электроцентробежный насос (ЭЦН), погружной электродвигатель, кабель, гидрозашиту [1]. Наземная часть представлена повышающим трансформатором и станцией управления. Основным показателем качества установки является наработка УЭЦН на отказ.

Целью работы является разработка автоматизированной системы управления стендом тестирования погружных электроцентробежных насосов.

Структурная схема стенда приведена на рисунке 1. Стенд работает в двух режимах: "Обкатка" – опрессовка и промывка насоса; "Тест" – замер всех параметров. Оба режима должны проводиться как вручную оператором, так и автоматически системой управления.

В режиме "Обкатка" сервопривод трёхходового крана переключает поток жидкости на смотровую колбу. Если насос забит, то жидкости в смотровой колбе не будет, и давление на входе насоса будет расти. Если жидкость поступает в смотровую колбу, то обкатка должна идти до тех пор, пока она не станет чистой.

Возможен режим опрессовки насоса. Для этого должна быть закрыта электрифицированная задвижка на выходе насоса, которая

полностью перекрывает расход. Давление на выходе при этом возрастает.

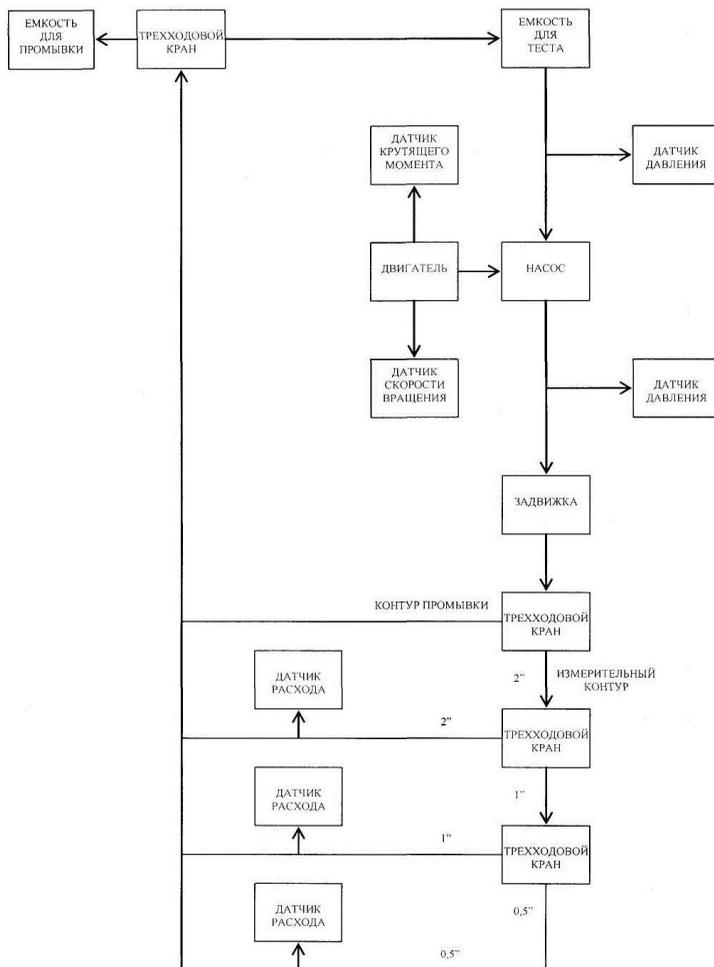


Рис. 1. Структурная схема стенда тестирования ЭЦН

После промывки и обкатки стенд переходит в режим "Тест": выходной поток насоса переключается на измерительную маги-

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

страль, где определяются значения момента на валу насоса и скорости его вращения, давление на входе и выходе насоса, расход.

В схеме стенда используются три расходомера с разными диапазонами измерения, чтобы перекрыть весь диапазон возможных значений расхода у применяемых при добыче нефти насосов.

Автоматизированная система управления стендом тестирования ЭЦН представлена двумя уровнями: верхним и нижним.

Нижний уровень управления включает в себя микропроцессорную систему измерения параметров работы стенда и его управления. На этом уровне обеспечивается измерение давления на входе и выходе насоса, измерение величины расхода воды в трех диапазонах, переключение режимов, управление электрофицированными задвижками и трехходовыми кранами, контроль скорости вращения и крутящего момента на валу двигателя насоса.

Верхний уровень представлен автоматизированным рабочим местом (АРМ) мастера, на которое поступают все отчеты со всех стендов (стенды тестирования ЭЦН, погружного электродвигателя и гидрозащиты) и учебным компьютерным классом для обучения персонала.

Все составные части системы объединены в единую сеть, построенную на основе технологии Ethernet. Компьютерный класс предназначен для обучения персонала работе на стендах.

Одним из недостатков рассмотренных систем тестирования погружного оборудования [1] – это наличие в составе каждого стенда автоматизированного рабочего места и, соответственно, необходимость в наличии дополнительного обслуживающего персонала.

В предлагаемом решении процедура управления всеми стендами возложена на одного оператора и при этом используется только одно АРМ. Частные задачи автоматического тестирования составных частей погружного оборудования переданы специализированным контроллерам. Так образом реализуется перспективное в настоящее время направление построения систем управления на базе распределенного интеллекта, позволяющего выполнение технологического процесса в полностью автоматическом режиме. В этом случае в функции оператора входит только загрузка карты

выполнения технологического процесса по всем участкам тестирования и принятие решения при возникновении аварийных ситуаций, которые не могут быть разрешены автоматической частью системы.

При такой реализации системы тестирования в целом появляется возможность повышения экономической эффективности участка (цеха) тестирования за счет уменьшения численности обслуживающего персонала. Также уменьшается стоимость аппаратной части системы, т.к. в данной схеме функции всех локальных автоматизированных рабочих мест возложены на АРМ мастера.

На рисунке 2. приведена структурная схема модуля управления стендом тестирования ЭНЦ.

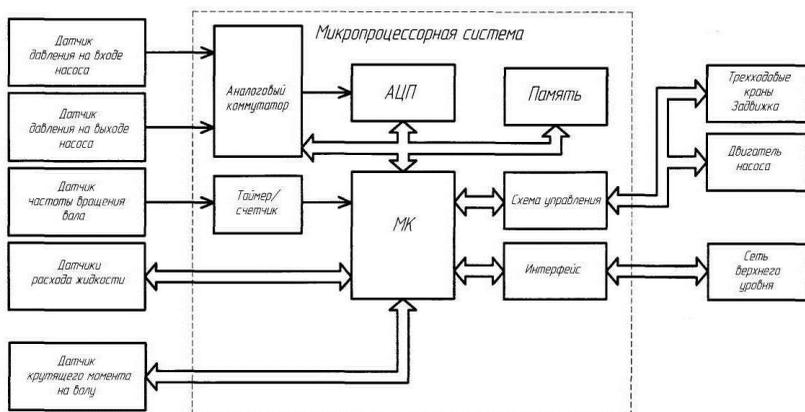


Рис. 2. Структурная схема модуля управления

Датчики давления имеют аналоговый стандартный токовый выход. Поэтому реализована функция оцифровки сигналов измерительных преобразователей с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Для реализации функции измерения частоты вращения вала (скорости вращения) использован метод дискретного счета с помощью подсистемы таймера/счетчика, встроенной в микроконтроллер (МК).

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Датчики расхода жидкости имеют цифровой выход и встроенный адаптер последовательного интерфейса RS485. Поэтому, эти датчики подключены к последовательным портам ввода/вывода микроконтроллера. Датчик крутящего момента также имеет цифровой выход и поддерживает интерфейс RS485.

Микроконтроллер по линиям параллельных портов ввода/вывода передает сигналы управления задвижкой и трехходовыми кранами, контролирует их состояние. Также он формирует сигналы управления двигателем насоса: включение, выключение, реверс. В качестве схемы управления двигателем можно использовать схему преобразователя частоты.

В схеме модуля управления также предусмотрена возможность обмена между узлами сети верхнего уровня. Сеть верхнего уровня реализована на базе сетевой технологии Ethernet.

Список литературы

1. *Комелин А.* Автоматизированная система управления стендами тестирования погружного электрооборудования // Современные технологии автоматизации, 2004, № 3. С. 16–23.

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE ELECTROCENTROPIC PUMP TESTING STAND

Khusnutdinov S.

Supervisor: M. Petrovskaya

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan)

The report presents a microprocessor control unit for the electrocentropic pump testing stand.

УДК 004

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ
СОСТОЯНИЯ «БОДРОСТЬ-СОН-УТОМЛЕНИЕ»
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСКОНТАКТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ**

Шагвалиев Т.Р., Садыков А.Р.

Научный руководитель: Т.Ф. Щербакова, канд. техн. наук, доцент;
А.А. Коробков, канд. техн. наук, доцент

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

В данной статье рассматривается процесс разработки и реализации портативного устройства контроля состояния «бодрость–сон–утомление» водителя. Предложены дальнейшие пути развития данной системы.

В настоящее время из-за обильности транспорта на дорогах и загруженности трафика становится актуальной задача контролирование состояния и здоровья водителя, в частном случае отслеживание момента времени его утомления или засыпания. Использование электрокардиосигнала (ЭКС) может являться одним из методов решения. При засыпании увеличивается RR-интервал человека, а частота сердечных сокращений (ЧСС) уменьшается. В медицинской терминологии это состояние называется брадикардия. В состоянии утомляемости идёт увеличение ЧСС – тахикардия. В приведённой ниже разработке в качестве пороговых значений для принятия решения об усталости или засыпании водителя берутся значения в 60 и 100 ударов сердца в минуту соответственно. Нахождение ЧСС пациента в данном диапазоне считается нормальным и соответствует состоянию бодрости, отклонение от заданного диапазона свидетельствует об утомлении или засыпании в зависимости от того, в какую сторону изменилось значение ЧСС – < 60 (уменьшилось) или > 100 (увеличилось).

Нами было проведена разработка устройства контроля состояния «бодрость-сон-утомление» с использованием бесконтактных электродов. Бесконтактные электроды имеют огромное преимущество перед тривиальными контактными датчиками. Их можно ис-

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

пользование вне медицинского учреждения и они подходят для длительного ношения. Для регистрации ЭКС применяются емкостные бесконтактные датчики ЕРІС, разработанные фирмой PlesseySemiconductors. Датчики достаточно просты для размещения вблизи груди пациента или на спине, чтобы получить качественную электрокардиограмму. Планируется встраивать датчики в кресло водителя, тем самым делая снятие ЭКС максимально удобным. Система будет состоять из двух блоков: устройства съема и устройства обработки. Передача данных в разрабатываемом устройстве будет выполнена методом передачи по радиоканалу. Внутри транспортного средства передача информации по радиоканалу будет производиться по стандарту беспроводной связи Bluetooth. В разрабатываемом устройстве полоса частот полезного сигнала составляет диапазон 1–70 Гц. Для подавления сетевой наводки используется цифровой режекторный фильтр на 50 Гц.

Датчики ЕРІС являются изолированными. По этой причине с их помощью можно создавать бесконтактные системы. Для этого необходима пара сенсоров. При этом единственная проблема заключается в получении опорного потенциала, относительно которого будут приводиться измерения. Для его создания можно использовать, например, проводящую ткань, расположенную на поверхности кресла.

Мы проводили экспериментальные исследования с использованием двух датчиков ЕРІС и заземляющим электродом (структурная схема устройства представлена на рисунке 1).

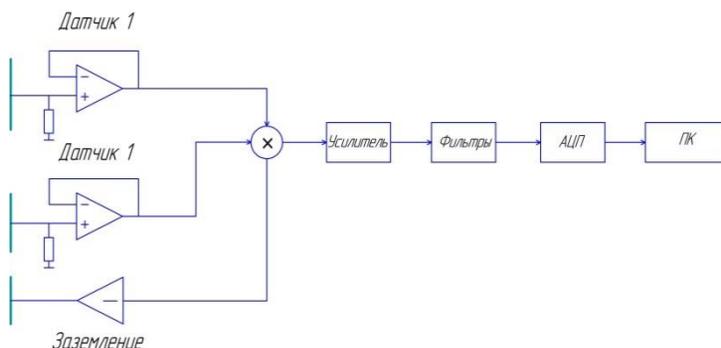


Рис. 1. Структурная схема

Сначала датчики размещали на грудной клетке, в области сердца, но при таком расположении сигнал получался зашумленный (рис. 2), а также такое расположение не подходит для водителя, так как датчики в этом случае необходимо крепить непосредственно на теле, что создает ряд неудобств. Затем повторили эксперимент, но датчики разместили на спине. Сигнал получили менее зашумленный (рис. 3). В этом случае датчики необязательно крепить на тело, что более комфортно для водителя. В обоих случаях получили ЭКС, но пришли к выводу, что для дальнейшего исследования, удобным и имеющим меньше помех подходит сигнал, который был получен при расположении датчиков на спине.

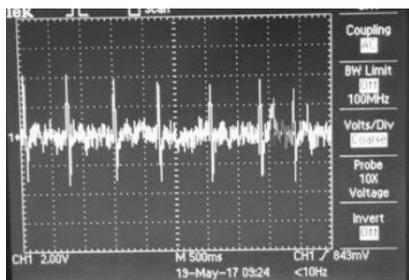


Рис. 2. Расположение датчиков на грудной клетке

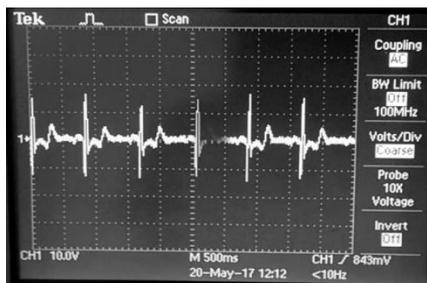


Рис. 3. Расположение датчиков на спине

В дальнейшем, как говорилось выше, мы предлагаем разместить на спинке кресла 6 датчиков, как показано на рисунке 4, таким образом, в зависимости от положения водителя, будет выбираться оптимальная пара датчиков, с которых будет сниматься сигнал. А так же, как упоминалось выше, для передачи информации в пределах транспортного средства предполагается систему беспроводной связи Bluetooth. После того, как сигнал будет передан по Bluetooth, начинается обработка и анализ показаний с помощью специального программного обеспечения, разработка которого тоже уже запущена. Таким образом, система данного портативного

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

устройства позволит контролировать состояние «бдительность–сон–устомление» водителя.



Рис. 4

Список литературы

1. Алгоритм анализа электрокардиосигнала для системы передачи в центр наблюдения / Т.Ф. Щербакова [и др.] // Материалы XV Международной научно-технической конференции «ПТиТТ-2014». Казань: Изд-во Казан. гос. тех. ун-та, 2014.
2. <http://www.kuban.su/medicine/shtm/baza/konsil/hrv.htm>

DEVELOPMENT OF A DEVICE CONTROL THE STATE OF "WAKEFULNESS-SLEEP-FATIGUE" WITH THE USE OF CONTACTLESS ELECTRODES

Shagvaliev T., Sadykov A.

Supervisor: T. Shcherbakova, Candidate of technical sciences, docent,
A. Korobkov, Candidate of technical sciences, docent
(Kazan National Research Technical
University named after A. N. Tupolev — KAI, Kazan)

This article discusses the process of development and implementation of the portable monitoring devices of the state of "wakefulness–sleep–fatigue" of the driver. Suggested further ways of development of this system.

УДК 62

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Ющенко М.А.

Научный руководитель: М.П. Данилаев,
докт. техн. наук, профессор

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ, г. Казань)*

Эта статья посвящена конструированию и разработке обобщенной структурной схемы автоматической системы управления дорожным движением.

В последние годы очень актуальным становится вопрос избытка автотранспортных средств на дорогах в крупных городах России. По данным РБК-рейтинг на 2016 г. город Казань является одним из самых «автомобильных» городов России. Уровень автомобилизации здесь составляет 209 автомобилей на 1000 жителей, и это число с каждым годом растет все сильнее. Учитывая, что уровень населения в Казани составляет 1116 тысяч человек, можно легко представить, какова загруженность городских дорог, что приводит, в свою очередь, к ухудшению показателей безопасности дорожного движения, уменьшению пропускной способности улично-дорожной сети (УДС) города и увеличению времени простоя автотранспортных средств в заторах.

Улучшений условий движения транспортного потока можно достичь с помощью транспортных развязок, мостов и туннелей. Однако в Казани малое количество подобных развязок, что плохо способствует разгрузки трассы. Построение подобных объектов требует огромных финансовых вложений, что отрицательно скажется на государственном бюджете Казани и Татарстана в целом.

Анализ показывает, что значительно смягчить ситуацию позволит комплекс мероприятий, связанных с совершенствованием управления транспортным потоком в городе – внедрением компьютеризованных автоматических систем управления дорожным

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

движением (АСУДД) на уличной сети городов [1]. Внедрение подобных мер значительно позволит сэкономить бюджетные средства, так как их внедрение будет производиться на базе уже установленных оборудований на улицах города. Безопасность движения на дорогах и эффективность управления транспортными и пешеходными потоками в значительной мере определяются качеством организации дорожного движения, надежностью и отказоустойчивостью программно-технических средств систем управления дорожным движением. Отсюда следует, что разработка принципов организации дорожного движения и систем управления транспортными потоками, необходимость использования современных технологий связи и управления разработка принципов управления является весьма актуальной проблемой в настоящее время.

Целью данной работы является разработка основ построения системы автоматического управления дорожного движения в городе Казани, которая позволит повысить уровень жизни населения на порядок.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- 1) Ознакомиться с существующими системами автоматического управления дорожным движением;
- 2) Выявить наиболее подходящую структуру системы управления, исходя из приведенных требований;
- 3) Подобрать протокол связи, который будет соответствовать требованиям системы;
- 4) Смоделировать с помощью языка программирования «Python» [5] и программного продукта «Simulink» [3, 4], являющейся приложением к пакету MATLAB, работу системы для участка города при различной загруженности дороги и различных уровнях мощности шума в канале передачи информации.

На основе исследованной литературы и проведенной работы были сделаны выводы, что наиболее подходящей структурой системы управления дорожного движения является иерархическая структура, так как она позволяет наиболее лаконично распределять поток информации между локальными и районными серверами, что позволяет устранить проблему перегруженности канала при

передачи информации. Было проведено исследование существующих протоколов связи, на основании которого был выбран протокол 10GBASE-E, соответствующий всем заданным требованиям. После этого на основании выбранного протокола был смоделирован канал передачи информации в САУДД при различном уровне шумов и помех. На основании проведенной работы был сделан вывод, что данная система является работоспособной и применимой на улицах города.

В результате был предложен подход к построению системы, которая необходима для улучшения качества жизни населения Казани [2]. АСУДД предполагается реализовать при помощи использования камер, установленных по городу, которые предназначены для слежения за нарушением скорости, что позволит существенно сэкономить бюджетные средства города и республики. Для увеличения скорости передачи информации предлагается использовать оптоволокно, которое активно внедряется в промышленных и общественных целях. Данная система позволяет реализовать автоматическое управление дорожным движением на дорогах города, это достигается с помощью камер, установленных на дорогах города и передающих информацию о скорости движения транспорта на локальный сервер, работа которого описана с помощью скрипта на языке Python, который перенаправляет движения потока транспорта в час пик. Это должно увеличить вероятность снижения времени простоя в «пробках», уровень пропускной способности дорог, а также сэкономить время и нервы водителей.

Список литературы

1. Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сборник докладов шестой междунар. конф. / СПб гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2004. – 400 с.
2. Горлов Ю.Г. Имитационное моделирование дорожного движения по транспортной сети промышленного центра // Материалы НТС: Современная миссия технических университетов в развитии инновационных территорий. – Варна, 2004. – С. 125–135.
3. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель / В.П. Дьяконов – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.

СЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

4. Черных И.В. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем / И.В. Черных. – М. – 2003.

5. Саммерфильд М. Python на практике / М. Саммерфильд. – 2014. – 338 с.

**THE DEVELOPMENT OF AUTOMATIC
CONTROL SYSTEM OF ROAD TRAFFIC**

Iushchenko M.

Supervisor: M. Danilaev, doctor, professor

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev–KAI, Kazan)

This paper focuses on the construction and development of a generalized the structural scheme of the automatic traffic control system.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОДСЕКЦИЯ 5.4. СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	4
HIGH EFFICIENT RANDOM NUMBER GENERATOR BASED ON FUZZY LOGIC Alnajjar Khaled	4
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ГЕНЕРАТОРА ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ, ОСНОВАННОГО НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ, С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКИХ ТЕСТОВ Альнаджар Х.Х.	12
АНАЛИЗ ЗРАЧКОВЫХ РЕАКЦИЙ ЧЕЛОВЕКА НА СВЕТОВОЕ ИМПУЛЬСНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ Ахметвалеев А.М.	21
АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ ГЕНЕРАТОРА ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В БАЗИСЕ ПЛИС Ахунов М.Р., Гумиров А.И.	30
ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ Владимиров Д.С.	36
ЗАЩИЩЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ АЛГОРИТМА КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА DBSCAN Газимов Р.М.	43
СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТИ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ Давлиева А.С.	49
КЛАССИФИКАЦИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ И СПОСОБЫ ЕЕ УДАЛЕНИЯ В СЕТИ INTERNET Панушкин Г.Н.	54

ОГЛАВЛЕНИЕ

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ НА БАЗЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ DEDUCTOR Степанов Г.И.	59
ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ СИМВОЛОВ В СИСТЕМАХ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ Сулейманов М.А.	65
МЕТОДЫ УДАЛЕНИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ Яковлев Е.А.	71
ПОДСЕКЦИЯ 5.5. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ	75
МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ БИНАРНОЙ ЛЕННАРД-ДЖОНСОВСКОЙ СМЕСИ Анашкина А.В., Анашкин И.П.	76
ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАНОНИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ИНТЕГРИРОВАНИЯ Германюк Д.Е., Германюк Г.Ю.	81
АППАРАТНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ШОРА В АРХИТЕКТУРЕ ПЛИС/FPGA Гришанов С.А.	87
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СЛУЧАЙНЫХ	

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В АРХИТЕКТУРЕ ПЛИС Гумиров А.И., Сулейманов С.Ф., Ясавиев Д.Р.	92
РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАБОРА УТИЛИТ И БИБЛИОТЕК НАDOOR Кожин А.С.	98
ОРГАНИЗАЦИЯ WEB-СЕРВИСА НА БАЗЕ ПРОТОКОЛА HTTP/2 Кожин Д.С.	105
РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ НАД ПОЛЕМ ГАЛУА В АРХИТЕКТУРЕ ПЛИС/FPGA Мухаметзянова М.А.	111
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗА ИЗ СОПЛА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ Наплеков И.С.	116
ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СЕТИ ОРГАНИЗАЦИИ Фролова К.А.	122
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРИРОВАННОЙ КАБЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ СИМУЛЯТОРА PACKET TRACER Чобанюк Б.В.	129
ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛНЕНИЯ SQL-ЗАПРОСОВ К БАЗАМ ДАННЫХ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ MySQL Ямалеева Г.Н.	134

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОДСЕКЦИЯ 5.6. ДИНАМИКА ПРОЦЕССОВ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.....	137
ПРОБЛЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ	
Есенин В.С.	138
ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА НА ПЕРЕДНЕМ ПЛАНЕ СЦЕНЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ	
Есенин В.С., Медведев М.В.....	143
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПИЛОТАЖНО- НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА САМОЛЕТА АВИАЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ	
Матвеев Д.С.	149
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ АДАПТИВНОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ MATHBRIDGE	
Павлов А.Д.	155
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ОБУЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЮ В СРЕДЕ SIMUL8	
Павлов А.Д.	160
ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ОПТОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ	
Цветкова А.В., Давлетшина Л.А.	166
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ В КОНЦЕПЦИИ «ЦИФРОВОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ»	
Шаймарданова З.А., Шаймарданов Ш.А.....	172

ПОДСЕКЦИЯ 5.7. ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН	178
ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТРАЕКТОРИИ МЯЧА	
Дисоу Иссе Фарей	179
О ПРОЕКТИРОВАНИИ ФЕРМЕННОГО ЭНДОПРОТЕЗА ДЛИННЫХ КОСТЕЙ	
Большаков П.В.....	185
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ БЛОКИРУЮЩИХ КОНТУРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПЕРЕДАЧ В СРЕДЕ КОМПАС 3D	
Бухмин А.Д.	189
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА В «L-МИКРО»	
Галушка М.С.	195
ТРЕНАЖЕР ВЕСТИБУЛЯРНОГО АППАРАТА	
Ефремов В.А.	202
МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГИБОВ СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ	
Журахонов Ш.Р.	208
О ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕДУКТОРОВ В СРЕДЕ КОМПАС 3D	
Закиров А.Р.	212
КИНЕМАТИКА ДВУХПОДВИЖНОГО ПЛОСКОГО ПЯТИЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА	
Исянов И.Р.	218
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ ВЕСТИБУЛЯРНОГО АППАРАТА НА БАЗЕ МЕХАНИЗМА БЕННЕТТА	
Рыжакова В.В.....	227

ОГЛАВЛЕНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОПРИВОДА ГРМ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ Сазгетдинов К.М.....	233
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ Сазгетдинов К.М.....	240
КОЛЕБАНИЯ МАЯТНИКА ПРИ НАЛИЧИИ УРАВНОВЕШИВАЮЩЕЙ СИЛЫ Сандросян М.Г.....	247
ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕХАНИЗМА БЕННЕТТА Торшин Р.Г.....	254
КИНЕМАТИКА БАЛАНСИРА СФЕРИЧЕСКОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА Фаизов М.Р.....	258
ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПОДВИЖНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ ДЛЯ АНАЛИЗА ПАРАЛЛЕЛОГРАММА БЕННЕТТА Хабибуллин Ф.Ф.....	263
СЕКЦИЯ 6. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ, ИНФОКОМ- МУНИКАЦИОННЫЕ, ПРИБОРНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ	269
ПОДСЕКЦИЯ 6.1. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ	270

ОБУЧАЮЩИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ ЛАБОРАТОРИИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ Абдуллаева А.З.	271
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ХАОТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ Аль Хуссейн А.Н.	275
РАСЧЕТ ОСВЕЩЕННОСТИ САЛОНА АВИАЦИОННОГО ЛАЙНЕРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВЕТИЛЬНИКОВ В СОСТАВЕ Li-Fi СИСТЕМЫ Алькулиах Амджид Абдулрахман. А. К.	280
ПЛАНИРОВАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ ФРАГМЕНТА СЕТИ WI-FI. Блохин С.В., Магдеева А.Р., Хайруллина Л.Р.	287
ОПТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ СПУТНИКАМИ ФОРМАТА CUBESAT Гибалина З.С., Фадеев В.А.	294
КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТОЙ Денисов А.	300
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛА ПРИ ВСЕВОЗМОЖНЫХ ФЛУКТУАЦИЯХ ПОМЕХ Диб Осама	306
ФОРМИРОВАТЕЛИ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА Егоров А.А.	312

ОГЛАВЛЕНИЕ

АНАЛИТИЧЕСКИЕ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННО-АДРЕСНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ С ШИРОКОПОЛОСНЫМИ СИГНАЛАМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОМЕХ СО СТРУКТУРОЙ СИГНАЛОВ Зуев М.Ю., Яруллин Р.Р.	316
РАЗРАБОТКА МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА С МИКРОПОЛОСКОВЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ВОЛНЫ H ₂₀ Кадыров Р.А.	321
РАЗРАБОТКА ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА НАЗЕМНОГО ГРАЖДАНСКОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС Кузьменко П.А., Шилов Н.С.	328
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО СИГНАЛАМ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ Михайлов А.С., Хисматуллина Д.Р.	331
МОНИТОРИНГ СИГНАЛЬНЫХ СООБЩЕНИЙ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНО- ОПРЕДЕЛЯЕМОГО ПРИЕМНИКА RTL Морозов А.С.	336
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ ФОРМАТА DAB/DAB+ В РФ Ндреманиназафу Р.У.А.	340
ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ЦЕЛЕВОМ ИЗЛУЧАТЕЛЕ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ Немкова М.П.	343

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ДИСКРЕТНО- НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ЧУА С ДИНАМИЧЕСКИМ ХАОСОМ Парфинович Д.Р.....	349
СТРОГОЕ РЕШЕНИЕ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ЩЕЛЕВОМ ИЗЛУЧАТЕЛЕ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ Пичугин В.Н.....	353
ОТНОШЕНИЕ ЭНЕРГИИ СИГНАЛА И КОМПЛЕКСА ПОМЕХ НЕ БЕЗУСЛОВНО ПРЕДСТАВЛЯЕТ КАЧЕСТВО РАДИОПРИЕМА Сергеев А.А.....	359
О ВОЗМОЖНОСТЯХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОММУНИКАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ НЕЗРЯЧИХ ЛЮДЕЙ Тагиров Р.Р.....	365
ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СЕТЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В ПОМЕЩЕНИИ Фазылов Л.И., Аминова Р.Р.....	372
УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НЕФТЕНОСНЫХ ПЛАСТОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ Хафизов И.И., Гимадеева Л.А.....	377
К ВЫБОРУ МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ ПЕРЕДАТЧИКА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ГЛОНАСС Хисматуллина Н.С., Шилов Н.С.....	383

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВЧ-УСТРОЙСТВ Хохлов Д.К.	386
ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМЫ АВТОСИГНАЛИЗАЦИИ Шурков А.А.	390
МОДЕЛИРОВАНИЕ УЗЛОВ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ХАОТИЧЕСКОЙ МАСКИРОВКОЙ НА ОСНОВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ С ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКОЙ Ясир Х.А.	396
ПОДСЕКЦИЯ 6.2. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ, МИКРОВОЛНОВЫЕ И РАДИОФОТОННЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ	402
ПРОЕКТ СФОКУСИРОВАННОГО БЕСПРОВОДНОГО УСТРОЙСТВА. ЧАСТЬ 1. ПРИНЦИП ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ УСТРОЙСТВА Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И., Юлушева А.И.	403
ОСОБЕННОСТИ G – ДИАГРАММЫ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЗОНАТОРОВ ГАЗОВЫХ ЛАЗЕРОВ Андрющенко Т.А., Васильев И.В.	409
АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАТОРА КОАКСИАЛЬНОГО ЛАЗЕРА Андрющенко Т.А., Цыгвинцева Р.С.	413
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ ЩЕТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ Артемьев В.И., Кузнецов А.А.	418

ДАТЧИК ИЗНОСА ЩЕТКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННОЙ РЕШЕТКИ БРЭГГА С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ И ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО Артемьев В.И., Кузнецов А.А.	423
ИЗУЧЕНИЕ ПРОКСИМО-ДИСТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ ПРЕСИНАПТИЧЕСКОГО НЕРВНОГО ОКОНЧАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ КАМЕРЫ Балашова Д.В.	429
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ КВЧ ЭМП НА АКТИВНОСТЬ РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАРТОФЕЛЯ Богатырева А.А.	435
НАПРЯЖЕННОСТЬ ПОЛЯ СИММЕТРИЧНОГО ВИБРАТОРА ПРИ ПЕРЕДАЧИ ШИРОКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА Васильев Е.В.	439
ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМНОГО УСТРОЙВА Васильев А.В., Григоращ О.В., Лютик К.П.	444
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЛИТЕЛЯ С ПОВОРОТОМ ФАЗЫ Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е., Ишкаев Т.М.	447
«РАЗНОСТНАЯ» МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е., Ишкаев Т.М.	452
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СХЕМЫ АМФК-ФКАМ КАНАЛА КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ С ЧАСТОТНЫМ КОДИРОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ ФОТОНА Габдулхаков И.М.	457

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯЦИОННЫХ СХЕМ КРК С ЧАСТОТНЫМ КОДИРОВАНИЕМ, КАНАЛА КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ С ЧАСТОТНЫМ КОДИРОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ АМПЛИТУДНО-ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ ФОТОНА Габдулхаков И.М.	463
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИТО И ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОСЕВНОГО МАТЕРИАЛА ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР Гадельшин Р.М.	468
ПРОЕКТ СФОКУСИРОВАННОГО БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА. ЧАСТЬ 3. РАЗРАБОТКА ПЛАНАРНОЙ АНТЕННЫ. Гимадиев Д.И., Юлушева А.И.	473
СИНТЕЗ ВБР СПЕЦИАЛЬНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ Гимадиева А.Р.	478
СВЧ ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ НА НЕОДНОРОДНОМ КОАКСИАЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ Зайцев А.Д., Юсупов Т.И.	481
ИНТЕРФЕРОМЕТР С ЧАСТОТНЫМ СДВИГОМ ДЛЯ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК Ижutow А.В., Аглиуллин А.Ф.	486
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ АВТОНАВЕДЕНИЯ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ АОЛС Карманников Д.С.	490

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РАДИОСИГНАЛА В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ Касимов М.Н.	497
РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНО-ВОЛНОВОДНОГО ПЕРЕХОДА, КАК ЭЛЕМЕНТА ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СОЧЛЕНЕНИЯ ДЛЯ ДИАПАЗОНА 50-70 ГГц Качушкин М.Н.	500
ВЫСОКОСКОРОСТНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ВОЛОКОННОЙ РЕШЕТКИ БРЭГГА С ПОМОЩЬЮ СВЧ ФОТОННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ И ПЕРЕМЕННОЙ СВЧ ЛЧМ КОМПРЕССИИ Кешишев А.В.	506
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСИРОВАННОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЛАЖНОСТИ И ДУГОВОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ КОМПЛЕКТНЫХ ШКАФОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ Кешишев А.С.	511
РАСЧЕТ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ КОАКСИАЛЬНОГО ЛАЗЕРА Киселев В.И., Сафиуллина Г.А.	515
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМП КВЧ-ДИАПАЗОНА В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ ДРОЖЖЕЙ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ Кокурин О.Е., Тимаков Н.П.	519
СКРЫТНОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ К ОПТИЧЕСКОМУ ВОЛОКНУ Коробков Л.В., Денисенко П.Е.	525
ИАГ:Nd- ЛАЗЕР НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 1.34 мкм С ОБРАЩЕНИЕМ ВОЛНОВОГО ФРОНТА НА ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ РЕШЕТКАХ НАСЕЛЕННОСТИ НЕОСНОВНОГО ПЕРЕХОДА Коровин С.А., Чунаев А.А.	528

ОГЛАВЛЕНИЕ

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПОЛЯ В ДАЛЬНЕЙ ЗОНЕ АТМОСФЕРНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ Кузьмин К.И.....	533
РЕГИСТРАЦИЯ КАЛЬЦИЕВОГО ТРАНЗИЕНТА В ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ СИНАПСАХ МЫШИ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОГО НЕРВА Латфуллин А.Р., Жияяков Н.В., Самигуллин Д.В.....	538
МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВБР С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ Малых Д.В., Файзуллин Р.И.....	541
РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ. ЧАСТЬ 1. ДИАПАЗОН ОТ 2,5 ДО 5 ГГц Маршова А.М.....	546
РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ Маршова А.М.....	551
КВАНТОВАЯ КОММУНИКАЦИЯ НА БОКОВЫХ ЧАСТОТАХ С ГЕТЕРОДИННЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ Мельник К.С., Глейм А.В.	556
РАЗРАБОТКА ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ПРИЕМНОГО ТРАКТА СИГНАЛОВ ОТ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ВИБРАЦИИ Мосин Р.О., Садчиков В.В.....	560

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ЯЧЕЕК ПЕРИОДИЧЕСКОЙ БРЭГГОВСКОЙ СТРУКТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКУ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СВЧ ВОЛНОВОДА Насыбуллин А.Р., Ишкаев Т.М.	563
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ ДИЭЛЕКТРИКОВ НА ОСНОВЕ БРЭГГОВСКОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА Насыбуллин А.Р., Ишкаев Т.М.	569
АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ СИСТЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕД Нурутдинов Т.Л.	575
УСТРОЙСТВО СИНХРОННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СЛАБЫХ СИГНАЛОВ Сабилов Т.Н., Смирнов М.А.	578
РАЗЪЮСТИРОВКА РЕЗОНАТОРА С ДВУГРАННЫМ ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ЗЕРКАЛОМ Сафиуллина Г.А.	584
ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВТОРИЧНОГО СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО НАГРЕВА НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ Смирнов С.В.	589
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО БЛОКА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ Степанов Э.Э., Нуреев И.И.	592
ЭФФЕКТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КВЧ-ДИАПАЗОНА НА ДРОЖЖИ ХЛЕБОПЕКАРНЫЕ Тимаков Н.П., Кокурин О.Е.	595

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОЦЕНКА КРИТЕРИИ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ АЛГОРИТМА ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВБР Файзуллин Р.И., Малых Д.В.....	600
ПРИМЕНЕНИЕ КОАКСИАЛЬНОГО ТРОЙНИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ Хабибуллин Р.Р.....	605
РЕАЛИЗАЦИЯ КОНВЕЙЕРНОГО МЕТОДА ПЕРЕРАБОТКИ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СФОКУСИРОВАННОЙ АПЕРТУРЫ Халиков А.З.....	610
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПОСЕВНОГО СВЧ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРАСТАЮЩИХ СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР Шамгунов И.И.	616
ПРОЕКТ СФОКУСИРОВАННОГО БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА. ЧАСТЬ 2. ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ ФОКУСИРОВКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ. Юлушева А.И., Акулинин Д.М.	620
КОАКСИАЛЬНЫЙ ВОЛНОВОД С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ КАК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО КОНТРОЛЯ Юсупов Т.И., Зайцев А.Д.....	626
СВЕТОДИОДНЫЙ ОСВЕТИТЕЛЬ ДЛЯ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДА LUXEON REBEL LED 7-UP BASE Яруллов Р.Ш.	632

ПОДСЕКЦИЯ 6.3. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ, КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ.....	640
СИНТЕЗАТОР НИЗКОЧАСТОТНЫХ СИГНАЛОВ Ахметшин Н.С.	641
МОДУЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ МАЛЫХ ТЕПЛИЦ Бичурин С.В.	644
ЦИФРОВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ИМПУЛЬСНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ КОНТРОЛЕ НЕОДНОРОДНОЙ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ Бычкова И.Ю.	647
ВЫЯВЛЕНИЕ НАРУШЕНИЙ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ПРОЯВЛЕНИЯХ БИГЕМИНИИ И ТРИГЕМИНИИ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА Вафин А., Якупов Р.	653
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ БОТОВОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА Галявиев Б.А.	659
ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ Герасимов А.Г., Романова А.С.	663
ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕНТГЕН-ИЗОБРАЖЕНИЙ Гилязова Г.Н., Слимova В.О.	669
ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ДИСТАНЦИОННОГО СПОСОБА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СТУДЕНТА Гущин И.А.	674

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЗДНИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА ПО I СТАНДАРТНОМУ ОТВЕДЕНИЮ Зарипов Б.А., Мухаметзянов О.А.....	678
ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ Киртаев И.А., Пыжова Е.М.	685
ПАРАМЕТРЫ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРНОГО ДИАМЕТРА СУБМИКРОННЫХ ЧАСТИЦ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ Курангышев А.В.	689
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ Магомедов Х.И.	694
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА Никишин Т.П., Тимергалина Г.В.	698
ИЗМЕРИТЕЛЬ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА Павлов С.А.	703
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ КАМЕРА ДЛЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ Романова А.С., Герасимов А.Г.	707
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ БАЛАНСИРОВКИ КОЛЕС Сагдиев И.Г.	713

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ПО ПЕРЕХОДНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ Тимергалина Г.В., Никишин Т.П.	717
КОНТРОЛЛЕР ТЕПЛООВОГО УЗЛА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОМА Усачев А.А.	721
ИСПЫТАНИЯ ПОМЕХОЭМИССИИ ОТ ИНТЕРФЕЙСОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА Фаухиева Л.Ф.	725
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДОМ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА Хуснутдинов С.Р.	730
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ «БОДРОСТЬ-СОН-УТОМЛЕНИЕ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСКОНТАКТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ Шагвалиев Т.Р., Садыков А.Р.	735
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ Ющенко М.А.	739

МАТЕРИАЛЫ СЕКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНЫ ПО ТОМАМ В СЛЕДУЮЩЕМ ПОРЯДКЕ:

ТОМ 1.

СЕКЦИЯ 1.	3
ПОДСЕКЦИЯ 1.1.	4
ПОДСЕКЦИЯ 1.2.	118
СЕКЦИЯ 2.	212
ПОДСЕКЦИЯ 2.1.	213
ПОДСЕКЦИЯ 2.2.	392
ПОДСЕКЦИЯ 2.4.	450
ПОДСЕКЦИЯ 2.5.	570
ПОДСЕКЦИЯ 2.6.	688
СЕКЦИЯ 3.	766
ПОДСЕКЦИЯ 3.1.	767
ПОДСЕКЦИЯ 3.2.	1036

ТОМ 2.

СЕКЦИЯ 4.	3
ПОДСЕКЦИЯ 4.1.	4
ПОДСЕКЦИЯ 4.2.	98
ПОДСЕКЦИЯ 4.3.	165
ПОДСЕКЦИЯ 4.4.	233
ПОДСЕКЦИЯ 4.5.	293
СЕКЦИЯ 5.	407
ПОДСЕКЦИЯ 5.1.	408
ПОДСЕКЦИЯ 5.2.	455
ПОДСЕКЦИЯ 5.3.	603

ТОМ 3.

СЕКЦИЯ 5 (продолжение).....	3
ПОДСЕКЦИЯ 5.4.	3
ПОДСЕКЦИЯ 5.5.	75
ПОДСЕКЦИЯ 5.6.	137
ПОДСЕКЦИЯ 5.7.	178
СЕКЦИЯ 6.	269
ПОДСЕКЦИЯ 6.1.	270
ПОДСЕКЦИЯ 6.2.	402
ПОДСЕКЦИЯ 6.3.	640

ТОМ 3.

СЕКЦИЯ 7.	3
ПОДСЕКЦИЯ 7.1.	4
ПОДСЕКЦИЯ 7.2.	196
ПОДСЕКЦИЯ 7.3.	260
ПОДСЕКЦИЯ 7.4.	412
ПОДСЕКЦИЯ 7.5.	606
ПОДСЕКЦИЯ 7.7.	684

**Международная молодежная
научная конференция
«XXIII ТУПОЛЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ
(школа молодых ученых)»**

ТОМ III

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

ISBN 978-5-9690-0395-8



Подписано в печать 03.11.2017. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 44,3. Тираж 30 экз. Заказ 03.11/17-3.

Издательство Академии наук РТ.
420111, г. Казань, ул. Баумана, 20.